

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

UTILISATION DE L'ACIDE FOLIQUE DANS LES  
SYSTÈMES DE TRAITEMENTS SECONDAIRES  
DES EAUX USÉES PAPETIÈRES

MÉMOIRE PRÉSENTÉ  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCE DES PÂTES ET PAPIERS

PAR  
ÉTIENNE DUBÉ

AOÛT 2003

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

## Avant-propos

*Ce n'est qu'à partir de la décennie des années 1960 que des termes comme «pollution de l'eau et de l'air», «protection de l'environnement», et «écologie» ont pris une importance sociale considérable. Avant cette période, ces termes n'étaient pas reconnus par le citoyen moyen ou, tout au plus, évoquaient des idées vagues à son esprit. Depuis cette époque, l'Homme a été bombardé par les médias avec l'effroyable notion que l'humanité se dirigeait vers sa propre destruction en utilisant des procédés polluants l'environnement dans un intérêt d'obtention du progrès matériel. Dans certains cas, les gens ont presque été élevés à un niveau d'hystérie collective. Bien que la pollution soit un problème sérieux, et qu'il est évidemment désirable que chaque citoyen soit concerné à ce sujet, il est cependant discutable qu'une «hystérie collective» soit justifiable en tout point. L'instinct de préservation des espèces est une force directrice à la base de l'humanité, et l'Homme est équipé pour corriger la détérioration de son environnement avant qu'il ne soit trop tard. En fait, le contrôle de la pollution n'est pas un problème technique excessivement difficile à résoudre en comparaison à des problèmes plus complexes qui ont été solutionnés dans les dernières décennies, comme l'exploration spatiale et l'identification de notre code génétique par exemple. Essentiellement, la connaissance technique de base requise à l'Homme pour faire face à la pollution est déjà disponible, et aussi longtemps qu'il sera prêt à payer un coût relativement raisonnable, le cauchemar de notre propre destruction dû à la pollution ne deviendra jamais réalité.*

*Tiré d'un texte de R. S. Ramalho, 1983.*

## Remerciements

Je voudrais d'abord exprimer mes sincères remerciements à mon directeur, le Docteur Sylvain Robert, à mon co-directeur le Docteur Daniel Gagnon, et au Docteur Henri-Claude Lavallée pour leurs conseils judicieux, tant dans le domaine des pâtes et papiers que dans le domaine de l'environnement. Leur direction, leur patience et leur soutien moral ont également été appréciés.

Je tiens aussi à remercier mes amis(es) à la maîtrise, au doctorat et le personnel du Centre de Recherche en Pâtes et Papiers de l'Université du Québec à Trois-Rivières, pour toute l'aide apportée, le soutien et l'amitié qu'ils m'ont témoigné.

Je souhaite également remercier M. Richard Akerboom et les membres de la compagnie Bioprime, Ltd, fournisseurs de la solution commerciale d'acide folique.

Finalement, mes remerciements iront à M. Normand Cunningham et aux membres de la compagnie Brenntag Canada pour avoir contribué financièrement au projet de recherche.

Avril 2003

## Résumé

Selon différents essais effectués sur l'utilisation du Dosfolat, ce dernier semblerait représenter une alternative intéressante à la chloration pour le contrôle du foisonnement filamenteux, en plus de posséder différents avantages supplémentaires. Cependant, peu de renseignements scientifiques sont actuellement disponibles sur le sujet. Un mémoire de maîtrise a donc été entrepris sur ce thème, au Centre de Recherche en Sciences des Pâtes et Papiers de l'Université du Québec à Trois-Rivières, afin de vérifier ces informations.

Le principal objectif de ce projet de recherche était d'évaluer les impacts opérationnels, économiques et environnementaux de l'utilisation du Dosfolat dans les systèmes de traitements secondaires. Pour atteindre nos buts, nous avons décidé de comparer l'efficacité d'utilisation du Dosfolat, à d'autres méthodes de contrôle du foisonnement filamenteux, dans des bioréacteurs fonctionnant selon le procédé des boues activées.

Nos résultats ont permis de conclure que, comparativement à la chloration, l'utilisation du Dosfolat présente également divers avantages économiques et opérationnels, en plus d'être un produit «écologique». Les résultats suggèrent ainsi que l'utilisation du Dosfolat serait une alternative intéressante à la chloration ou à d'autres méthodes de contrôle du foisonnement filamenteux.

## Mots Clés

Acide folique, boues activées, Dosfolat, foisonnement filamenteux, hypochlorite, peroxyde d'hydrogène, sélecteur anoxie, traitement secondaire.

## Table des Matières

Avant-propos.....	ii
Remerciements.....	iii
Résumé.....	iv
Mots Clés.....	iv
Table des Matières .....	v
Liste des Figures .....	viii
Liste des Photographies .....	x
Liste des Tableaux.....	xi
Liste des Abréviations.....	xiii
Chapitre 1 - Introduction.....	1
1.1    Le projet «Acide folique» .....	1
1.1.1    Description du projet .....	1
1.1.2    Objectifs du projet .....	2
1.2    Qu'est-ce que l'acide folique? .....	3
Chapitre 2 - Synthèse de la littérature .....	5
2.1    Le procédé par boues activées .....	5
2.1.1    Définition.....	5
2.1.2    Principes de base .....	6
2.2    Le foisonnement filamenteux .....	7
2.2.1    Définition.....	7
2.2.2    Causes du foisonnement filamenteux .....	9
2.3    Méthodes de contrôle du foisonnement filamenteux .....	10
2.3.1    Le Dosfolat .....	11
2.3.2    Le peroxyde d'hydrogène .....	13

2.3.3	La chloration.....	14
2.3.4	Les sélecteurs biologiques .....	15
Chapitre 3 - Matériel et Méthodes .....		20
3.1	Matériel et montage expérimental .....	20
3.2	Biomasse et eaux usées utilisées.....	23
3.3	Choix des différentes méthodes de contrôle du foisonnement filamenteux à évaluer.....	24
3.4	Conditions expérimentales des différents bioréacteurs .....	24
3.5	Procédure expérimentale.....	25
3.5.1	Étape 1 : Évaluation du contrôle du foisonnement filamenteux en condition de stress.....	26
3.5.2	Étape 2 : Duplication de l'étape 1 avec une nouvelle biomasse .....	28
3.5.3	Étape 3 : Évaluation du contrôle du foisonnement filamenteux en condition normale d'opération.....	28
3.6	Paramètres contrôlés et méthodes d'analyse .....	29
3.6.1	Paramètres contrôlés.....	29
3.6.2	Méthodes d'analyse .....	30
Chapitre 4 - Résultats et Discussion .....		33
4.1	Évaluation environnementale des eaux usées.....	33
4.2	Identification des microorganismes retrouvés dans nos bioréacteurs.....	34
4.3	Étape 1 : Évaluation du contrôle du foisonnement filamenteux en condition de stress.....	35
4.3.1	Analyse environnementale et contrôle du foisonnement filamenteux .....	35
4.3.2	Analyse opérationnelle et économique.....	38
4.4	Étape 2 : Duplication de l'étape 1 avec une nouvelle biomasse.....	43
4.4.1	Analyse environnementale et contrôle du foisonnement filamenteux .....	44
4.4.2	Analyse opérationnelle et économique.....	46
4.5	Étape 3 : Évaluation du contrôle du foisonnement filamenteux en condition normale d'opération.....	49
4.5.1	Analyse environnementale et contrôle du foisonnement filamenteux .....	50

4.5.2	Analyse opérationnelle et économique.....	53
4.6	Récupération d'un bioréacteur en difficulté par l'ajout de Dosfolat .....	60
4.7	Drainage du mélange des résidus.....	61
Chapitre 5 - Conclusions et Recommandations .....		63
5.1	Résumé de l'étude et de ses résultats.....	63
5.2	Recommandations.....	65
5.3	Poursuite de l'étude .....	65
Bibliographie.....		67



## Liste des Figures

Figure 1-1	Structure chimique de l'acide folique (Regnault, J-P. 1990).....	3
Figure 2-1	Réaction biologique du procédé par boues activées.....	5
Figure 2-2	Procédé par boues activées.....	7
Figure 2-3	La compaction des boues et le problème du foisonnement filamenteux.....	8
Figure 2-4	Nombre relatif de microorganismes vs. qualité des boues (ETC, 1994).....	9
Figure 2-5	Principe biologique du sélecteur aérobie (Jenkins et al. 1993).....	17
Figure 2-6	Principe biologique du sélecteur anoxie (Jenkins et al. 1993) .....	18
Figure 2-7	Principe biologique du sélecteur anaérobie (Jenkins et al. 1993).....	19
Figure 3-1	Montage expérimental de base.....	21
Figure 3-2	Montage expérimental avec ajout de produit chimique .....	22
Figure 3-3	Montage expérimental muni d'un sélecteur anoxie .....	23
Figure 4-1	TSUO moyen des différents bioréacteurs – Étape 1 .....	39
Figure 4-2	Prédominance relative moyenne de la faune des différents bioréacteurs – Étape 1 .....	40
Figure 4-3	Consommation moyenne en azote par les différents bioréacteurs – Étape 1 .....	41
Figure 4-4	Consommation moyenne en phosphore par les différents bioréacteurs – Étape 1 .....	42
Figure 4-5	Production moyenne de biomasse par les différents bioréacteurs – Étape 1 .....	43
Figure 4-6	TSUO moyen des différents bioréacteurs – Étape 2 .....	47
Figure 4-7	Prédominance relative de la faune des différents bioréacteurs – Étape 2 .....	48
Figure 4-8	Contrôle de l'IVB par un traitement au Dosfolat – Étape 3 .....	53
Figure 4-9	TSUO moyen des différents bioréacteurs – Étape 3 .....	54
Figure 4-10	Prédominance relative moyenne de la faune des différents bioréacteurs – Étape 3 .....	55
Figure 4-11	Effet du Dosfolat sur la diversité de la faune – Étape 3 .....	56
Figure 4-12	Consommation moyenne en azote par les différents bioréacteurs – Étape 3 .....	58

Figure 4-13	Consommation moyenne en phosphore par les différents bioréacteurs – Étape 3 .....	58
Figure 4-14	Production moyenne de biomasse par les différents bioréacteurs – Étape 3 .....	59
Figure 4-15	Récupération de la stabilité par un traitement au Dosfolat .....	60
Figure 4-16	Récupération de la diversité de la faune par un traitement au Dosfolat .....	61

## Liste des Photographies

Photo 1	Boues activées en santé.....	72
Photo 2	Bactéries filamenteuses type 021N.....	72
Photo 3	Foisonnement filamenteux léger du type Thiothrix II.....	73
Photo 4	Foisonnement filamenteux important du type 021N .....	73

## Liste des Tableaux

Tableau 2-1	Classification des boues activées selon leur niveau d'IVB .....	9
Tableau 3-1	Conditions particulières d'opérations et de traitement des différents bioréacteurs pour l'étape 1 .....	27
Tableau 3-2	Conditions particulières d'opérations et de traitement des bioréacteurs pour l'étape 3 .....	29
Tableau 3-3	Fréquences de la détermination des principaux paramètres évalués .....	31
Tableau 3-4	Abondance relative des filaments dans les flocons (Jenkins et al. 1993) .....	32
Tableau 4-1	Principales caractéristiques des eaux usées .....	33
Tableau 4-2	Efficacité de traitement des eaux usées, par les différents bioréacteurs, selon la réduction moyenne des principaux paramètres environnementaux – Étape 1 .....	36
Tableau 4-3	Efficacité du contrôle du foisonnement filamenteux, selon l'IVB, par les différents bioréacteurs – Étape 1 .....	36
Tableau 4-4	Abondance relative des filaments dans les flocons des différents bioréacteurs – Étape 1 .....	37
Tableau 4-5	TSUO moyen des différents bioréacteurs – Étape 1 .....	38
Tableau 4-6	Abondance relative moyenne de la faune des différents bioréacteurs – Étape 1 .....	40
Tableau 4-7	Consommation moyenne en azote et phosphore par les différents bioréacteurs – Étape 1 .....	41
Tableau 4-8	Production moyenne de biomasse par les différents bioréacteurs – Étape 1 .....	43
Tableau 4-9	Efficacité de traitement des eaux usées, par les différents bioréacteurs, selon la réduction moyenne des principaux paramètres environnementaux – Étape 2 .....	44
Tableau 4-10	Efficacité du contrôle du foisonnement filamenteux, selon l'IVB, par les différents bioréacteurs – Étape 2 .....	45
Tableau 4-11	Abondance relative des filaments dans les flocons des différents bioréacteurs – Étape 2 .....	45
Tableau 4-12	TSUO moyen des différents bioréacteurs – Étape 2 .....	46
Tableau 4-13	Abondance relative moyenne de la faune des différents bioréacteurs – Étape 2 .....	47

Tableau 4-14	Efficacité de traitement des eaux usées, par les différents bioréacteurs, selon la réduction moyenne des principaux paramètres environnementaux – Étape 3.....	50
Tableau 4-15	Efficacité du contrôle du foisonnement filamenteux, selon l'IVB, par les différents bioréacteurs – Étape 3 .....	51
Tableau 4-16	Abondance relative des filaments dans les flocons des différents bioréacteurs – Étape 3 .....	52
Tableau 4-17	TSUO moyen des différents bioréacteurs – Étape 3 .....	54
Tableau 4-18	Abondance relative moyenne de la faune des différents bioréacteurs – Étape 3 .....	55
Tableau 4-19	Consommation moyenne en azote et phosphore par les différents bioréacteurs – Étape 3 .....	57
Tableau 4-20	Production moyenne de biomasse par les différents bioréacteurs – Étape 3 .....	59

## Liste des Abréviations

CRPP	Centre de recherche en pâtes et papiers
DBO <sub>5</sub>	Demande biochimique en oxygène cinq jours
DCO	Demande chimique en oxygène
F/M	Rapport Nourriture / Organismes
IVB	Indice du volume des boues
MES	Matières en suspension
MVES	Matières volatiles en suspension
N	Azote
OD	Oxygène dissous
P	Phosphore
SD	Solides dissous
SDV	Solides dissous volatils
SSLM	Solides en suspension de la liqueur mixte
SSVLM	Solides en suspension volatils de la liqueur mixte
TRH	Temps de rétention hydraulique
TRS	Temps de rétention des solides
TSUO	Taux spécifique d'utilisation de l'oxygène
TUO	Taux d'utilisation de l'oxygène
UQTR	Université du Québec à Trois-Rivières

# Chapitre 1 - Introduction

## 1.1 Le projet «Acide folique»

### 1.1.1 Description du projet

La beauté du procédé par boues activées provient directement de notre compréhension des cycles naturels de dégradation et de récupération de la matière organique dans la nature. L'application industrielle de principes biologiques pose plus souvent qu'autrement des défis technologiques et engendre potentiellement des problèmes liés aux phénomènes naturels. Dans le cas qui nous concerne, il s'agit de la création d'un foisonnement filamenteux par certaines bactéries évoluant dans le bioréacteur [1,2,3,4,5,6].

Le projet «Acide folique» consiste en l'évaluation du Dosfolat (solution commerciale d'acide folique) comme alternative à la chloration pour contrôler le foisonnement filamenteux dans les traitements secondaires des industries papetières. Ce projet s'inscrit donc dans un contexte de préoccupations environnementales, devenant de plus en plus importantes, concernant l'utilisation de produits chimiques dans les systèmes de traitement des eaux usées. Le chlore est la méthode la plus efficace et la plus utilisée présentement pour le contrôle du foisonnement filamenteux [4,5,6,7]. Son utilisation mène malencontreusement à la création de sous-produits chlorés nuisibles lorsqu'ils sont rejetés dans l'environnement. Les autorités gouvernementales demandent donc présentement l'évaluation et l'élaboration de nouvelles méthodes de contrôle plus saines pour l'environnement [6,7].

Différents essais sur l'utilisation du Dosfolat ont été effectués dans divers systèmes de traitement des eaux usées (municipaux et industrielles) en Europe et aux États-Unis [6,8,9,10,11,12,13,14,15,16]. Selon ces essais, son utilisation pourrait représenter une alternative intéressante à la chloration pour le contrôle du foisonnement filamenteux en plus de conférer différents avantages supplémentaires. Cependant, peu de renseignements scientifiques sont actuellement disponibles sur le sujet. Un projet de recherche a donc

été entrepris sur ce thème, au Centre de Recherche en Sciences des Pâtes et Papiers de l'Université du Québec à Trois-Rivières, afin de vérifier ces informations.

Le principal objectif de ce projet de recherche est donc d'évaluer les impacts opérationnels, économiques et environnementaux de l'utilisation du Dosfolat dans les systèmes de traitements secondaires. Pour atteindre nos buts, nous avons décidé de comparer l'efficacité d'utilisation du Dosfolat, à d'autres méthodes de contrôle du foisonnement filamenteux, dans des bioréacteurs fonctionnant selon le procédé boues activées [17].

Ce mémoire de maîtrise porte sur les essais expérimentaux effectués au Centre de recherche en pâtes et papiers (CRPP) de l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR). Ceci constitue la phase I du projet. La phase II sera constituée d'essais pilotes dans les systèmes de traitement des eaux usées de différentes industries papetières. Cette dernière phase permettra de confirmer ou infirmer la validité des résultats obtenus en laboratoire [17].

### **1.1.2 Objectifs du projet**

Le but principal de ce projet de recherche était d'évaluer l'impact de l'utilisation du Dosfolat sur le contrôle du foisonnement filamenteux dans les traitements secondaires des industries papetières. Notre intention était l'évaluation et l'élaboration d'une nouvelle méthode de contrôle ne comportant pas d'impacts négatifs sur l'environnement [17].

De ce fait, l'étude avait deux grands objectifs [17] :

- obtenir des renseignements concernant les avantages économiques, environnementaux et opérationnels de l'utilisation du Dosfolat; et
- valider ou infirmer les renseignements littéraires sur l'utilisation du Dosfolat.

Pour atteindre nos objectifs, nous avons décidé de comparer l'efficacité du Dosfolat à d'autres méthodes de contrôle du foisonnement filamenteux, e.g., hypochlorite de sodium, peroxyde d'hydrogène, sélecteur anoxie. Différents paramètres furent observés pour fins de comparaison [17] :



- quantité d'éléments nutritifs utilisée (azote, phosphore);
- qualité de la décantation de la biomasse;
- «santé» des bioréacteurs (TSUO);
- quantité de biomasse produite (production de boues);
- qualité du contrôle du foisonnement filamenteux;
- qualité du drainage de la biomasse produite; et
- qualité du traitement des eaux usées (MES, DCO, etc.).

## 1.2 Qu'est-ce que l'acide folique?

L'acide folique est un micronutriment, comme les éléments traces et les vitamines. C'est un composé que les cellules utilisent en petites quantités car il agit en tant que catalyseur. Comparativement aux macronutriments comme le carbone, l'azote et le phosphore, les micronutriments ne sont pas des réactifs, ils permettent plutôt le déroulement de certaines réactions impliquant l'élaboration de divers composés [18,19,20].

La formule chimique de l'acide folique est  $C_{19}H_{19}N_7O_6$ , sa structure est représentée à la figure 1-1 [21].

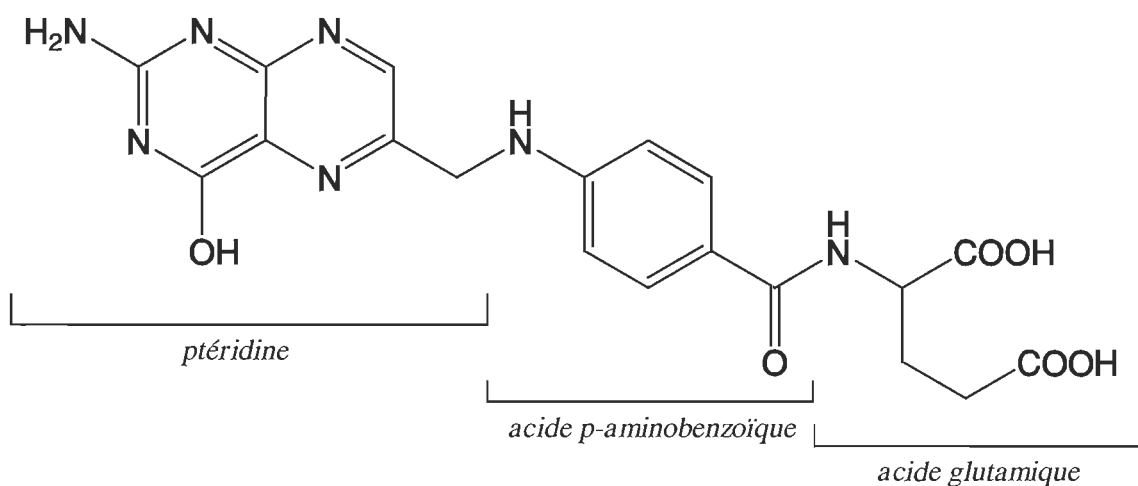


Figure 1-1 Structure chimique de l'acide folique (Regnault, J-P. 1990)

Une fois qu'il a pénétré à l'intérieur d'une cellule, l'acide folique et ses analogues sont réduits en acide tétrahydrofolique, un coenzyme, un composé qui assiste les enzymes dans leurs travaux. L'acide folique se lie avec les groupements carbonés libres dégagés

par réactions cellulaires, comme par exemple les groupes méthyles ( $\text{CH}_3$ ), méthylènes ( $\text{CH}_2$ ), méthényles ( $\text{CH}$ ), formyles ( $\text{CHO}$ ) et formimino ( $\text{HCNH}$ ), gardant ceux-ci disponibles mais prévenant les problèmes de toxicité et de mutations [18,19,20].

Dans ce rôle de coenzyme, l'acide folique est requis pour synthétiser [18,19,20,22] :

- la glycine, un important acide aminé;
- l'acide pantothénique, un complexe de la vitamine B;
- la  $\beta$ -alanine, un composé de la paroi cellulaire;
- la thymine, une des quatre bases de l'ADN; et
- des acides nucléiques nécessaires à la synthèse des protéines et la réplication des cellules.

De plus, il assiste certaines réactions servant à la dégradation de toxines de faibles poids moléculaires. L'acide folique est également important pour la synthèse et la catalyse des protéines, particulièrement pour les enzymes contrôlant le métabolisme cellulaire [18,19,20,22].

Alors que certains microorganismes peuvent synthétiser l'acide folique à partir de différentes sources de carbone, d'autres ont seulement besoin du composé acide *p*-amino-benzoïque. Plusieurs microorganismes sont cependant incapables de le synthétiser, ils dépendent alors de l'acide folique provenant de leur l'environnement. Une revue de littérature [18,19,20,22,23] montre qu'il y aurait 15 genres bactériens et 29 espèces recensées qui ne pourraient pas synthétiser l'acide folique, en plus d'un grand nombre de protozoaires, incluant *Paramecium*, *Tetrahymena spp.* et *Vorticella*.

## Chapitre 2 - Synthèse de la littérature

### 2.1 Le procédé par boues activées

#### 2.1.1 Définition

Plusieurs réactions biogéochimiques ont lieu lors de la biodégradation de matière organique dans un procédé par boues activées. Si nous voulons simplifier le procédé à sa plus simple expression, nous pouvons dire que ce dernier reproduit les phénomènes naturels qui prennent place dans la couche supérieure du sol au fond d'un cours d'eau quelconque. Dans ce procédé on utilise une masse contrôlée de microorganismes pour convertir, de façon aérobie, la matière organique brute en composés utilisables par ces derniers et en composés pouvant être facilement séparés des eaux traitées par des procédés physico-chimiques [1,2,3,4,5,6].

Le procédé par boues activées est basé sur le principe de floculation. Les flocons sont en fait constitués de composés biotiques tels que les bactéries, protozoaires et autres microorganismes, ainsi que de composés abiotiques tels que les matières organiques et inorganiques. Les bactéries filamenteuses sont cependant à la base de la construction des flocons. Les filaments bactériens s'étendent naturellement au cours de l'aération d'eaux usées grâce à leur multiplication. De ce fait, leur présence ajoutée aux matières abiotiques permet la formation de flocons [1,2,3,4,5,6].

La figure 2-1 présente la réaction biologique simplifiée du procédé.

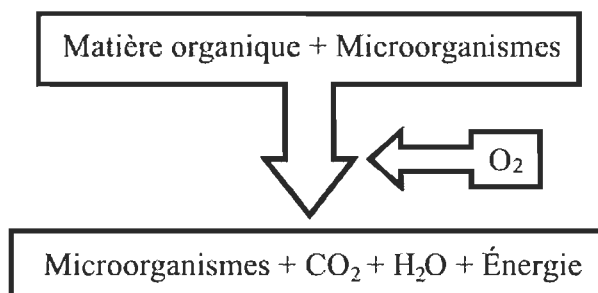


Figure 2-1 Réaction biologique du procédé par boues activées

### 2.1.2 Principes de base

Nous pouvons résumer les principes de base du procédé [1,2,3,4,5,6] comme il suit:

- La matière organique est dégradée et consommée par les microorganismes, qui sont ensuite séparés de l'eau usée par décantation ou flottation.
- Le procédé biologique est un processus en chaîne. La décomposition biologique d'un produit complexe s'effectue par étape. Chaque groupe de microorganismes participe à la dégradation de sous-produits potentiellement utilisables par d'autres.
- La reproduction des microorganismes est effectuée grâce à la consommation de la matière organique, d'éléments nutritifs et d'oxygène dissous dans l'eau.
- L'agrégation des microorganismes et de la matière organique (floculation) est essentielle pour l'obtention d'une bonne séparation des microorganismes de l'eau traitée.
- Le maintien d'une masse fixe de microorganismes dans le bioréacteur requiert une recirculation et une purge différente tous les jours.
- La qualité de l'effluent final dépendra de l'équilibre d'un bon écosystème (présence ou absence, ainsi que quantité, de certains groupes de microorganismes).

Le procédé par boues activées est schématisé à la figure 2-2. Il peut être divisé en deux étapes principales [1,2,3,4,5,6,24] :

- un bioréacteur aéré où les matières organiques sont biodégradées par les microorganismes; et
- un clarificateur (secondaire) permettant la séparation des eaux traitées de la biomasse (boues biologiques).

Dans ce type de système, les eaux usées sont dirigées directement vers le bioréacteur, avec les éléments nutritifs nécessaires, par le biais d'une ligne et pompe d'alimentation. L'injection d'oxygène et l'agitation de la liqueur mixte (eau + microorganismes) dans le bioréacteur permettent une bonne biodégradation des matières organiques. Après traitement des eaux usées, la liqueur mixte est ensuite transférée dans un clarificateur (secondaire) pour la séparation des eaux traitées de la biomasse. Les eaux traitées sont en-

suite récupérées et déversées dans l'environnement. Une ligne et pompe de recirculation de la biomasse est reliée au procédé de clarification afin de retourner une partie de celle-ci dans le bioréacteur pour maintenir un niveau constant dans le système. Le surplus de biomasse est enlevé du système et géré de différentes façons selon le choix de l'industrie : enfouissement, brûlé comme source énergétique dans une chaudière à biomasse, valorisation agricole, etc. [1,2,3,4,5,6,24,25].

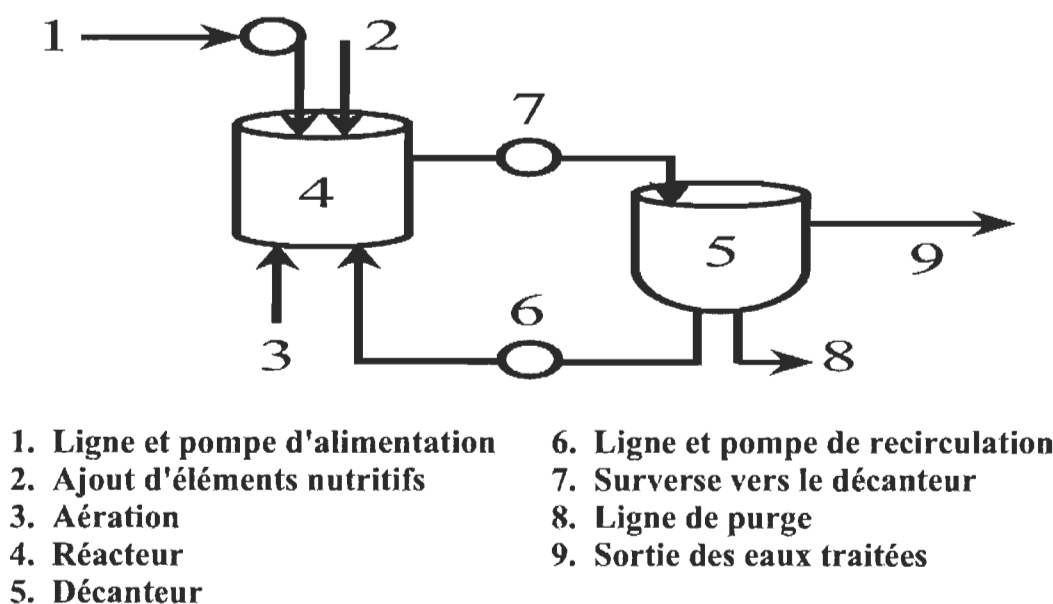


Figure 2-2 Procédé par boues activées

Il existe présentement sur le marché plusieurs variantes du procédé par boues activées. Le procédé complètement mélangé, celui à deux étapes, le réacteur biologique séquentiel et celui utilisant l'oxygène pur, en sont quatre exemples. Les systèmes les plus utilisés dans le monde sont les procédés complètement mélangés et à deux étapes [1,2,3,5,24, cité par Gagnon 2000 [4]].

## 2.2 Le foisonnement filamenteux

### 2.2.1 Définition

Le rendement d'un procédé par boues activées est directement lié au maintien d'un volume constant de biomasse, au maintien de la santé de celle-ci, ainsi qu'à l'efficacité de

séparation des eaux traitées de cette biomasse. Lors de conditions problématiques affectant le procédé, le phénomène de foisonnement filamentueux peut survenir et ainsi affecter sérieusement l'étape de clarification. Le foisonnement filamentueux peut donc être défini comme un problème affectant principalement la floculation, la décantation et la compaction des flocons dans l'étape de clarification du procédé [1,4,5,6,7,24,26]. La figure 2-3 schématise le problème.

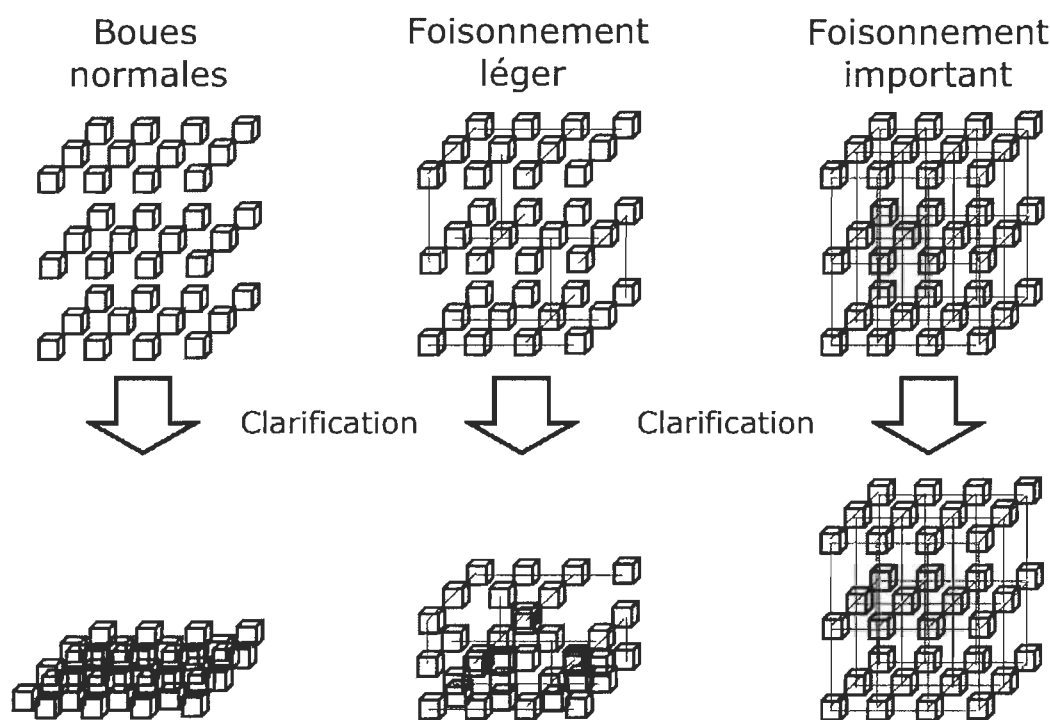


Figure 2-3 La compaction des boues et le problème du foisonnement filamentueux

Le phénomène est dû à une croissance excessive des bactéries filamenteuses qui forment, comme son nom l'indique, de longs filaments bactériens. Ces bactéries sont une composante naturelle de la communauté bactérienne d'une biomasse. Cependant, sous certaines conditions favorables à leur croissance, elles se multiplient de façon excessive et dominent les autres populations du bioréacteur. Ce phénomène a pour conséquence d'affecter l'équilibre de la biomasse, nuisant ainsi à la qualité des eaux traitées produites [4,5,6,7,24,26].

Les boues activées ont été classifiées en trois groupes par Pipes [27 cité par Gagnon *et al.* 1999 [6]] selon leur indice de volume des boues (IVB). Ces trois groupes sont représentés au tableau 2-1.

Tableau 2-1 Classification des boues activées selon leur niveau d'IVB

Type de boues	IVB (mL/g)
Normales	< 100
Légères	100 - 200
Foisonnées	> 200

L'indice de volume des boues peut être défini comme étant le volume occupé par un litre de biomasse après 30 minutes de décantation [4,5,24]. Une association entre le nombre relatif de microorganismes et la qualité des boues est représentée à la figure 2-4 [24].

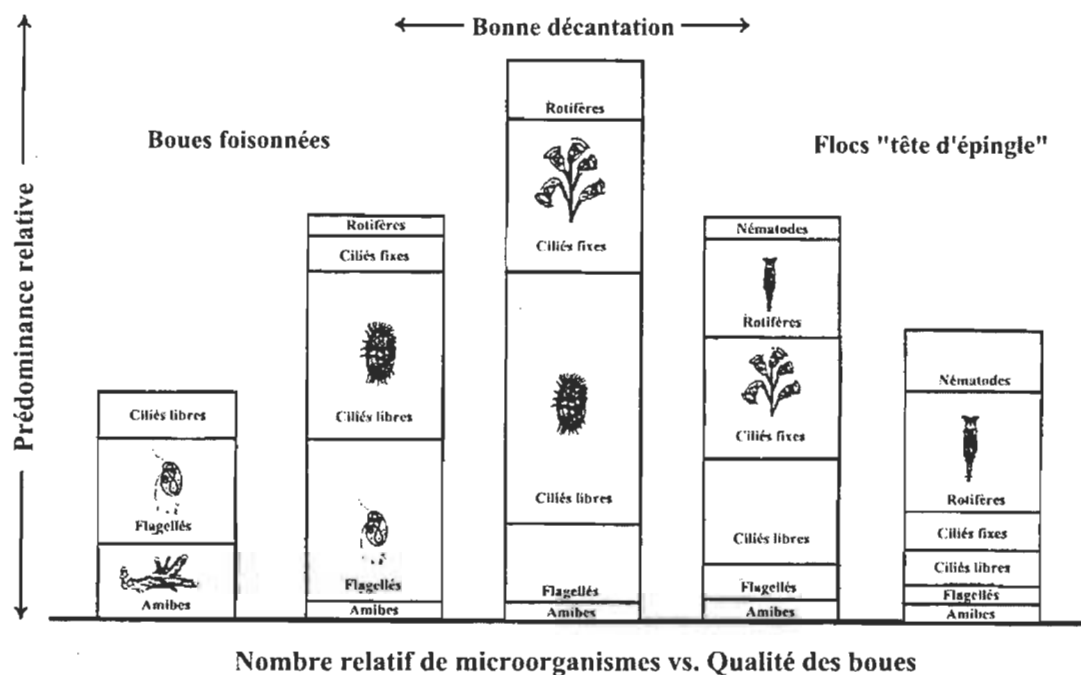


Figure 2-4 Nombre relatif de microorganismes vs. qualité des boues (ETC, 1994)

## 2.2.2 Causes du foisonnement filamentueux

Comme nous l'avons vu précédemment, le foisonnement filamentueux peut survenir lors de conditions problématiques et ainsi affecter sérieusement l'étape de clarification. Se-

lon différents chercheurs [4,5,6,7,24,26,28,29,30,31,32,33], les principales causes du foisonnement filamenteux sont :

- une concentration importante des eaux usées en glucides;
- une concentration faible en substrat;
- une faible charge des boues;
- un pH acide;
- une concentration élevée en sulfure;
- un faible niveau d'oxygène dissous; et
- une déficience en macronutriments et micronutriments tels que l'azote, le phosphore, et certains éléments traces.

### **2.3 Méthodes de contrôle du foisonnement filamenteux**

La résolution de la problématique reliée au foisonnement filamenteux exige une compréhension du problème ainsi que de ses causes spécifiques. Le développement de techniques d'identifications des bactéries filamenteuses, ainsi que l'identification des causes spécifiques de leur multiplication excessive, sont devenus une priorité. Avec l'amélioration de nos connaissances sur le sujet et le développement de différentes techniques, diverses corrélations furent établies et nous avons ainsi pu élaborer différentes méthodes de contrôles spécifiques afin de résoudre une ou plusieurs causes précises [4,5,6,7,24,26,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43]. Aujourd'hui, des modifications spécifiques peuvent donc être apportées pour contrôler le problème de croissance excessive des bactéries filamenteuses.

Afin de contrôler le foisonnement filamenteux, les principaux paramètres d'opération utilisés sont [4,5,6,7,24] :

- un dosage adéquat des éléments nutritifs;
- un ajustement adéquat du pH (7.0 - 7.5);
- un ajustement adéquat de la température (30 - 35°C); et
- un ajustement adéquat du niveau d'oxygène dissous (2.00 mg/L).



Le principal moyen de contrôle retrouvé dans le monde est l'utilisation de produits chimiques tels que le chlore et le peroxyde d'hydrogène. La méthode la plus utilisée et efficace serait la chloration. Certaines industries emploient également des méthodes telles que l'utilisation d'un sélecteur biologique (aérobie, anaérobie ou anoxie) [4,5,7,24, cité par Gagnon *et al.* 1999 [6]].

Les préoccupations environnementales devenant toujours plus importantes, de nouvelles méthodes de contrôle du foisonnement filamenteux doivent cependant être élaborées afin de remplacer des composés chimiques tel que le chlore. L'utilisation de ce dernier menant malencontreusement à la création de sous-produits chlorés nuisibles lorsque rejetés dans l'environnement [6,7].

Un récent rapport de recherche [6] sur les méthodes de contrôle du foisonnement filamenteux a permis de soulever les points suivants :

- peu de renseignements scientifiques sont disponibles au sujet du Dosfolat;
- l'utilisation du peroxyde d'hydrogène et du Dosfolat semblent être des alternatives intéressantes à l'utilisation de l'hypochlorite de sodium;
- l'utilisation du sélecteur anoxie semble être la meilleur des méthodes utilisant un sélecteur biologique; et
- des études devraient être effectuées pour comparer différentes méthodes entre elles.

### **2.3.1 Le Dosfolat**

Tel que stipulé antérieurement, différents essais sur l'utilisation du Dosfolat ont été effectués sur divers systèmes de traitements des eaux usées (municipales et industrielles) en Europe et aux États-Unis [6,8,9,10,11,12,13,14,15,16]. Selon ces essais, son utilisation pourrait représenter une alternative intéressante à la chloration pour le contrôle du foisonnement filamenteux en plus de conférer différents avantages supplémentaires. Cependant, peu de renseignements scientifiques sont actuellement disponibles sur le sujet.

Le Dosfolat est une solution commerciale d'acide folique. L'acide folique est un micronutriment qui, une fois pénétré dans une cellule, est réduit en acide tétrahydrofolique

(coenzyme), assistant ainsi les enzymes dans leurs travaux. Tel que discuté plus tôt, l'acide folique joue un rôle important dans le métabolisme cellulaire [18,19,20,22] :

- il est important pour la synthèse et la catalyse des protéines et
- il assiste certaines réactions servant à la dégradation de toxines de faibles poids moléculaires.

Plusieurs microorganismes sont cependant incapables de le synthétiser, ils dépendent alors de l'acide folique provenant de leur l'environnement [18,19,20,22,23].

Selon les renseignements retrouvés dans la littérature [6,8,9,10,11,12,13,14,15,16], l'utilisation du Dosfolat offrirait différents avantages :

- une réduction de l'indice de volume des boues;
- une réduction des besoins en flocculants;
- une réduction des besoins en éléments nutritifs;
- une réduction de la production de biomasse;
- une meilleure résistance aux chocs toxiques;
- une amélioration de la «santé» de la biomasse;
- une amélioration de la qualité des eaux traitées (normes environnementales); et
- l'utilisation d'un produit non nocif pour l'environnement.

Les points d'ajout du Dosfolat, dans un système de traitement secondaire, sont comparables à ceux utilisés lors de la chloration, soit [6,8,9,10,11,12,13,14,15,16] :

- au niveau de la ligne d'alimentation, en eaux usées, du bioréacteur;
- directement dans le bioréacteur;
- au niveau de la ligne d'alimentation, en liqueur mixte, du clarificateur (secondaire); et
- au niveau de la ligne de recirculation, de la biomasse, vers le bioréacteur.

Des essais industriels [16, cité par Gagnon *et al.* 1999 [6]] ont démontrés l'efficacité de contrôle du foisonnement filamenteux par le Dosfolat sous une charge maximale de mise

en route de 0.35 à 0.50 ppm et sous une charge maximale de maintenance de 0.15 ppm. Le Dosfolat était alors injecté en continu, dans la ligne de recirculation des boues.

### 2.3.2 Le peroxyde d'hydrogène

Le peroxyde d'hydrogène constitue une méthode de contrôle du foisonnement filamentueux présentement utilisée, de manière continue ou interrompue, par différents types d'industries [6,27,34,35,36]. L'utilisation de cette méthode confère un avantage environnemental primordial : la décomposition du peroxyde d'hydrogène produit de l'eau et de l'oxygène. En plus d'être totalement inoffensifs pour l'environnement, ces deux composés lui sont utiles.

En tant que méthode de contrôle du foisonnement filamentueux, le peroxyde d'hydrogène utiliserait son pouvoir oxydant puissant pour assaillir la paroi cellulaire des microorganismes. Cette méthode est cependant non sélective et a également des effets toxiques sur tous les microorganismes du système [5,6,27,34,35,36,37,38].

L'utilisation du peroxyde d'hydrogène possède certains avantages [5,6,35] :

- ses produits de décomposition étant l'eau et l'oxygène, il permet d'accroître le niveau d'oxygène dissous dans le bioréacteur;
- il permet de réduire la DCO et la DBO des eaux traitées; et
- ses produits de décomposition (eau + oxygène) sont non nocifs et utiles pour l'environnement.

Les points d'ajout du peroxyde d'hydrogène, dans un système de traitement secondaire, sont comparables à ceux utilisés lors de la chloration, soit [5,6,35,36,37] :

- au niveau de la ligne d'alimentation, en eaux usées, du bioréacteur;
- directement dans le bioréacteur;
- au niveau de la ligne d'alimentation, en liqueur mixte, du clarificateur (secondaire); et
- au niveau de la ligne de recirculation, de la biomasse, vers le bioréacteur.

Des études [5,40, cité par Gagnon *et al.* 1999 [6]] ont déterminé que la concentration minimale effective en peroxyde d'hydrogène serait d'environ 0.1 kg H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> / kg SSLM.j.

Les principaux désavantages de l'utilisation du peroxyde d'hydrogène, pour le contrôle du foisonnement filamenteux, sont [5,6,7,35,40] :

- ce produit est corrosif et inflammable sous certaines conditions;
- ce produit est sensible aux variations de température et de pH;
- il s'agit d'un produit facilement et rapidement décomposable; et
- cette méthode de contrôle est plus onéreuse que la chloration.

### 2.3.3 La chloration

La chloration est la méthode la plus utilisée dans le monde pour le contrôle du foisonnement filamenteux [4,5,6,7,24,41] car:

- la chloration est la méthode la plus économiquement viable;
- le chlore est un produit facilement accessible sur le marché;
- la chloration est une méthode fiable et rapide; et
- la chloration comporte peu de risques d'utilisation.

Les principales sources de chlore, généralement utilisé dans les systèmes industriels, sont sous forme d'hypochlorite de calcium ou de sodium. Le chlore joue principalement le rôle d'un biocide, nuisant ainsi à la croissance des microorganismes [4,5,6,7,24].

L'introduction du chlore dans un système de traitement secondaire peut être effectué à différents lieux [5,6,7,24] :

- au niveau de la ligne d'alimentation, en eaux usées, du bioréacteur;
- directement dans le bioréacteur;
- au niveau de la ligne d'alimentation, en liqueur mixte, du clarificateur (secondaire); et
- au niveau de la ligne de recirculation, de la biomasse, vers le bioréacteur.

Selon certaines études, il semble cependant que le point d'entrée démontrant la plus grande efficacité d'action serait au niveau de la ligne de recirculation de la biomasse. Les charges utilisées varieraient généralement entre 0.7 et 16 mg/L d'affluent [5,7,24, cité par Gagnon *et al.* 1999 [6]].

Malgré l'efficacité reconnue de la chloration pour le contrôle du foisonnement filamenteux, il en demeure néanmoins qu'il s'agit d'une méthode non sélective ayant également des effets toxiques sur tous les microorganismes du système [5,6,7,42]. Les avantages ainsi retrouvés au niveau de la régulation de la croissance des bactéries dites filamenteuses ont également des effets pervers sur le traitement des eaux usées et sur l'environnement [5,6,7,43]:

- régulation négative de la croissance de tous les microorganismes du système;
- interférence avec la nitrification;
- augmentation de la turbidité et de la DCO des eaux traitées;
- réduction de l'enlèvement biologique du phosphate; et
- formation de sous-produits chlorés qui sont libérés dans l'environnement.

#### **2.3.4 Les sélecteurs biologiques**

Selon différents chercheurs [4,5,6,30,43], l'utilisation de sélecteurs biologiques représente une alternative intéressante de contrôle du foisonnement filamenteux dans les systèmes de traitements secondaires. Un sélecteur biologique est en fait un réservoir dans lequel certains paramètres précis sont contrôlés afin de défavoriser la croissance des bactéries filamenteuses.

Afin que certains composés organiques dégradés soient transportés et entreposés à l'intérieur des cellules microbiennes, pour utilisation future, celles-ci requièrent une source d'énergie. Cette énergie est générée par l'oxydation d'une partie de ces composés dégradés [4,5,6,30,43]. Trois catégories de sélecteurs biologiques peuvent donc être définies selon leur mode d'action [4,5,6,30,43]:

1. Aérobie: Utilisation d'oxygène dissous [Figure 2-5];
2. Anoxie: Utilisation de  $\text{NO}_3\text{-N}$  et occurrence de dénitrification [Figure 2-6]; et

3. Anaérobie: Hydrolyse de polyphosphates cellulaires et largage d'orthophosphates [Figure 2-7].

Une recherche [44, cité par Gagnon *et al.* 1999 [6]] a été effectuée sur la comparaison des différents types de sélecteur biologique. Ses principales conclusions furent :

- les sélecteurs aérobies et anaérobies ont démontrés une faible performance de contrôle du foisonnement filamenteux comparativement au sélecteur anoxie;
- la méthode utilisant le sélecteur anoxie fut la plus rapide; et
- l'efficacité de contrôle du foisonnement filamenteux par le sélecteur anoxie fut obtenue selon un temps de rétention variant de 22 à 88 minutes et un volume variant de 350 à 1 100 mL.

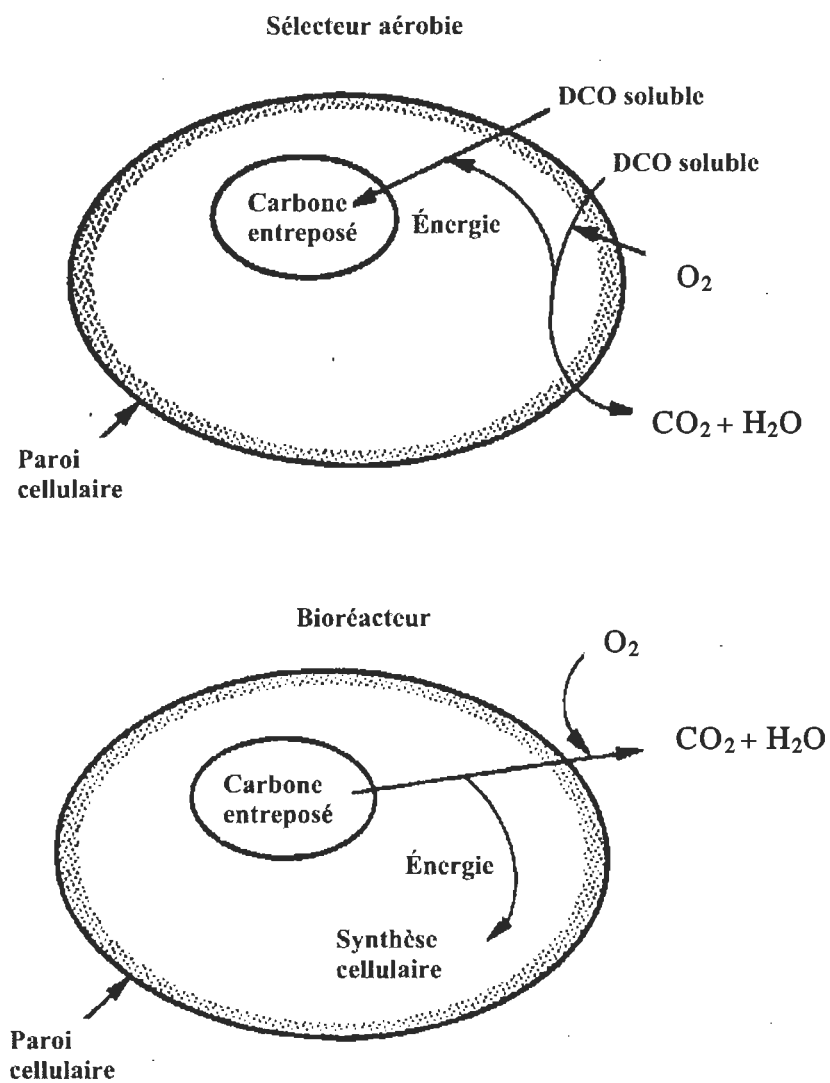


Figure 2-5 Principe biologique du sélecteur aérobie (Jenkins et al. 1993)

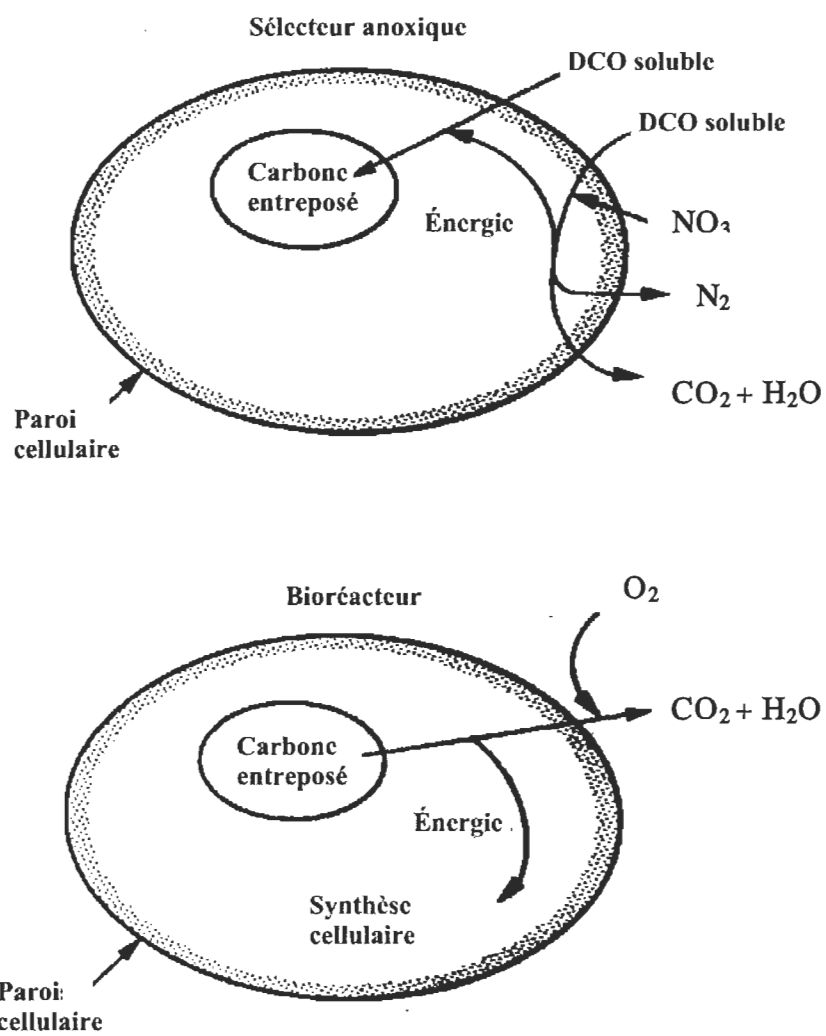


Figure 2-6 Principe biologique du sélecteur anoxie (Jenkins et al. 1993)



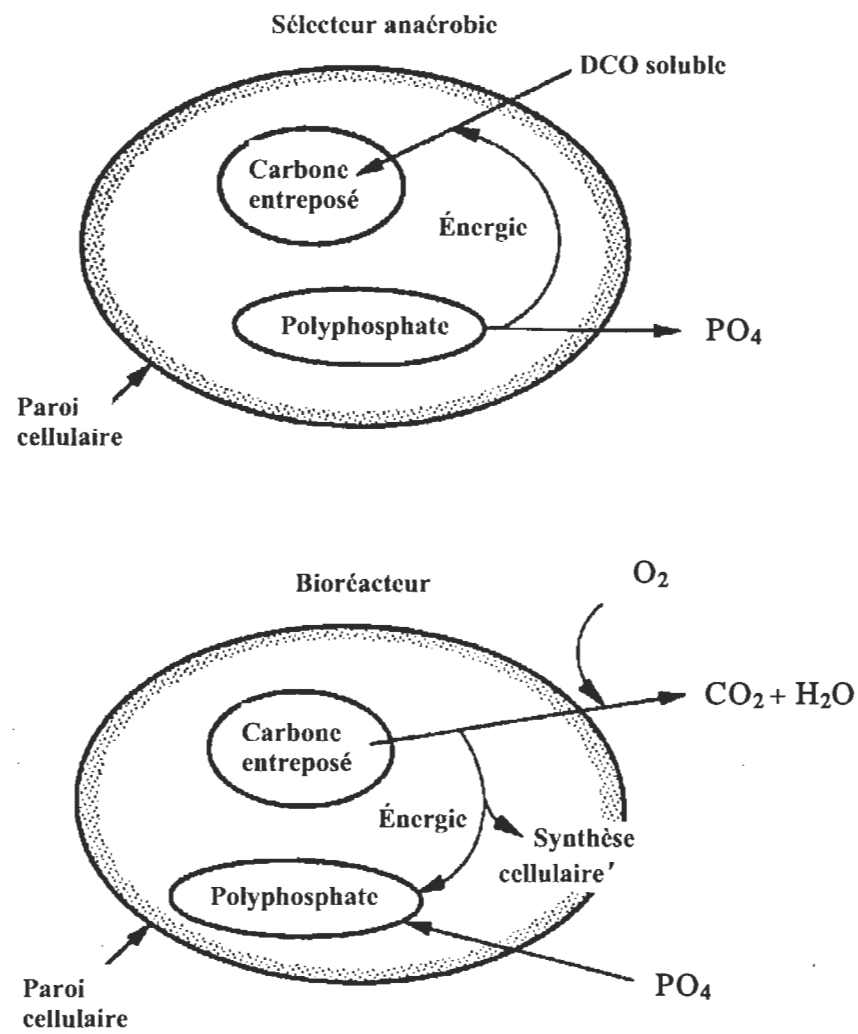


Figure 2-7 Principe biologique du sélecteur anaérobie (Jenkins et al. 1993)

## Chapitre 3 - Matériel et Méthodes

### 3.1 Matériel et montage expérimental

Nos essais en laboratoire furent échelonnés sur une période de six mois et ont requis cinq bioréacteurs fonctionnant selon le procédé des boues activées. Nous avons fait fonctionner ces bioréacteurs 24 heures par jour, 7 jours par semaine, indépendamment les uns des autres, sous différentes conditions de traitement de leur foisonnement filamenteux. Les conditions d'opération courantes employées pour ces bioréacteurs étaient basées sur celles utilisées chez des bioréacteurs industriels. Nous voulions ainsi obtenir des résultats représentatifs pour les gens de l'industrie papetière [17].

Les cinq unités (système de traitement des eaux usées) était principalement constituée des huit éléments suivants [17] :

1. un bac d'approvisionnement en eaux usées;
2. un bioréacteur;
3. un conduit d'alimentation en oxygène;
4. un chauffe-eau pour maintenir la température de la liqueur mixte constante;
5. un contrôleur de pH;
6. un décanteur pour le stade de clarification;
7. deux pompes ainsi que la tubulure nécessaire à l'alimentation en eaux usées et à la recirculation de la biomasse; et
8. un bac de récupération des eaux traitées.

Le montage expérimental que nous avons utilisé en laboratoire est illustré à la figure 3-1.

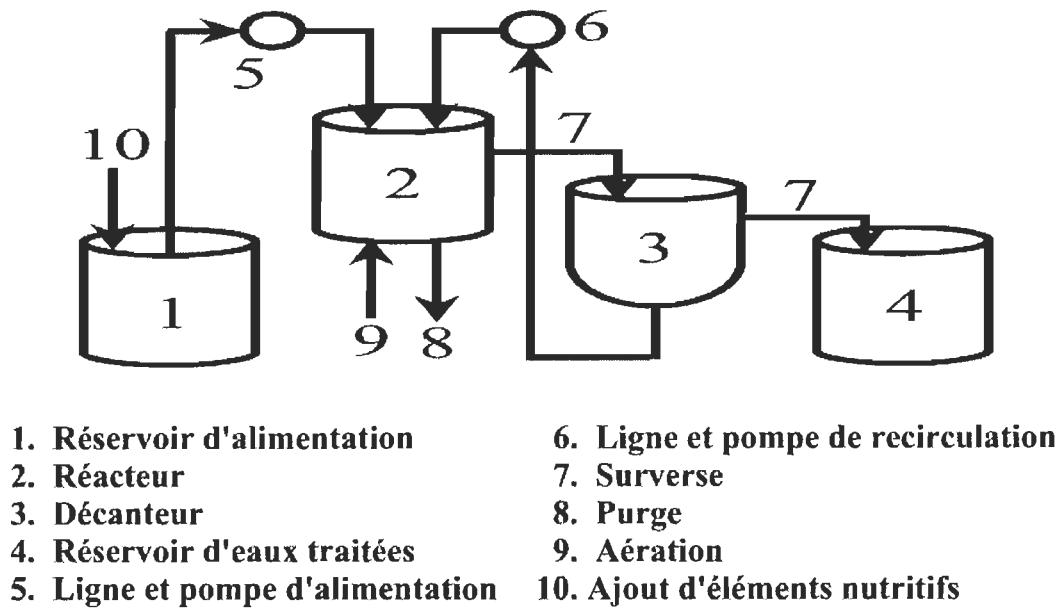


Figure 3-1 Montage expérimental de base

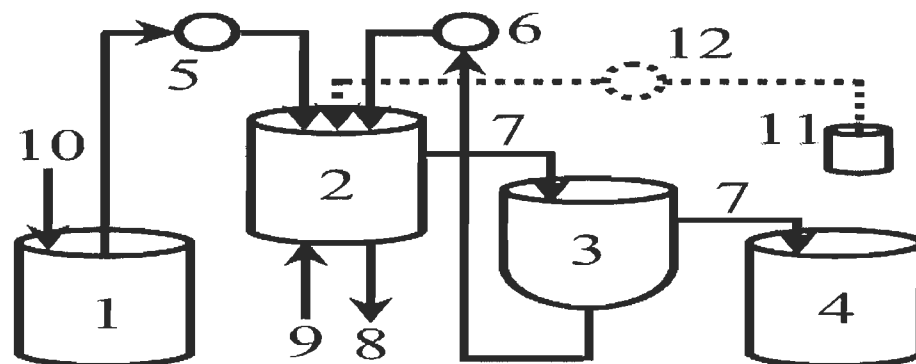
Ce montage était conçu de la façon suivante [17] :

- Les eaux usées étaient aspirées vers le bioréacteur à l'aide d'une pompe à partir d'un bac d'approvisionnement dans lequel étaient ajoutés les éléments nutritifs (azote et phosphore) selon les concentrations résiduelles en  $\text{N-NH}_3$  et en  $\text{O-PO}_4$  du bioréacteur. La concentration d'azote a été ajustée par l'ajout d'urée (solution concentrée à 26%). Quant à la concentration en phosphore, elle a été ajustée par l'ajout d'acide phosphorique (solution concentrée à 75%).
- Ce montage était constitué d'un bioréacteur cylindrique en plexiglas d'un volume maximal de 30 litres. Nous avons opéré à un volume constant de 15 litres. Ce bioréacteur était maintenu à une température de 30-35°C par un chauffe-eau d'aquarium. Un débit d'air constant était diffusé dans le bioréacteur à l'aide d'un tube troué joint au fond de ce dernier. Ce débit d'air permettait l'apport en oxygène dissous requis, ainsi qu'une agitation mécanique continue de la biomasse. Un contrôleur de pH indiquait le degré d'acidité ou d'alcalinité du bioréacteur.
- La liqueur mixte du bioréacteur était déversée dans un décanteur en acier inoxydable d'une capacité de 30 litres, par débordement de surface, pour le stade de clarification. La biomasse récupérée de ce dernier était continuellement retournée

vers le bioréacteur au moyen d'une pompe. Le maintien d'une concentration constante de biomasse (purge) dans le bioréacteur fut effectué directement à partir de ce dernier.

- L'eau traitée clarifiée par le décanteur était récupérée dans un bac pour effectuer des analyses environnementales.

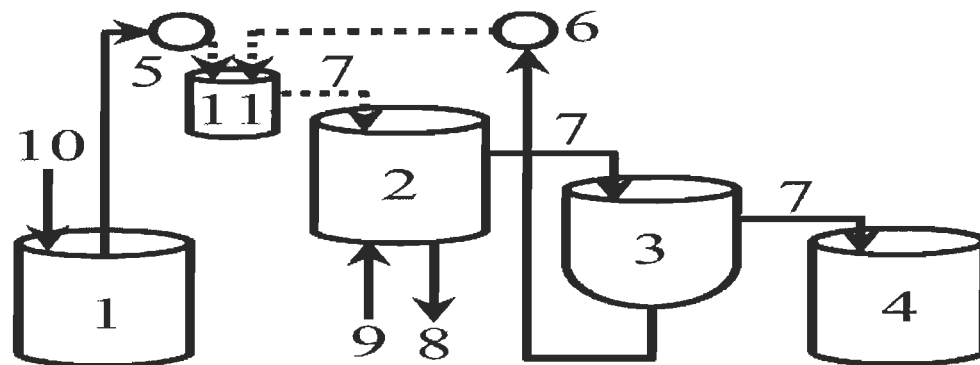
Les trois bioréacteurs sélectionnés pour le contrôle du foisonnement filamentueux à l'aide de produits chimiques (Dosfolat, hypochlorite de sodium ou peroxyde d'hydrogène) furent chacun pourvus d'un assemblage supplémentaire. Ce montage additionnel est illustré à la figure 3-2. Chaque solution de produits chimiques fut aspirée à partir d'un contenant spécifique vers son bioréacteur à l'aide d'une pompe [17].



- |                                    |  |
|------------------------------------|--|
| 1. Réservoir d'alimentation        | 7. Surverse                            |
| 2. Réacteur                        | 8. Purge                               |
| 3. Décanteur                       | 9. Aération                            |
| 4. Réservoir d'eaux traitées       | 10. Ajout d'éléments nutritifs         |
| 5. Ligne et pompe d'alimentation   | 11. Réservoir de produit chimique      |
| 6. Ligne et pompe de recirculation | 12. Ligne et pompe du produit chimique |

Figure 3-2 Montage expérimental avec ajout de produit chimique

En ce qui concerne le bioréacteur équipé d'un sélecteur anoxie (Figure 3-3), l'alimentation en eaux usées ainsi que la ligne de recirculation de la biomasse furent déversées directement dans un contenant agité d'un volume de 3 litres. La liqueur mixte du sélecteur fut par la suite déversée, par débordement de surface, vers le bioréacteur [17].



- |                                    |                                |
|------------------------------------|--------------------------------|
| 1. Réservoir d'alimentation        | 7. Surverse                    |
| 2. Réacteur                        | 8. Purge                       |
| 3. Décanteur                       | 9. Aération                    |
| 4. Réservoir d'eaux traitées       | 10. Ajout d'éléments nutritifs |
| 5. Ligne et pompe d'alimentation   | 11. Sélecteur anoxique         |
| 6. Ligne et pompe de recirculation |                                |

Figure 3-3 Montage expérimental muni d'un sélecteur anoxie

### 3.2 Biomasse et eaux usées utilisées

Afin de démarrer nos bioréacteurs en laboratoire, nous avons utilisé une biomasse industrielle d'un système de traitement secondaire d'une industrie papetière. Le choix de cette papetière précise fut basé sur le fait qu'elle n'utilisait pas d'agent chimique pour son contrôle du foisonnement filamenteux et donc cette biomasse n'était pas «contaminée» ou adaptée à ces produits de traitement. Pour cette même raison, différentes biomasses furent utilisées pour les diverses étapes de l'étude [17].

Notre source en eaux usées provenait également d'un système de traitement secondaire d'une industrie papetière. Leurs caractéristiques environnementales étaient déterminées, puis celles-ci étaient maintenues sous une température de 4°C dans un réfrigérateur [17].

Ces biomasses et eaux usées provenaient du même système de traitement. Il s'agissait d'un système de traitement secondaire appartenant à une industrie papetière fabriquant du papier journal à base de pâte thermomécanique et désencrée [17].

### 3.3 Choix des différentes méthodes de contrôle du foisonnement filamentueux à évaluer

Conséquemment aux informations retrouvés dans la littérature, nous avons choisi d'évaluer différentes méthodes de contrôle du foisonnement filamentueux selon divers aspects économiques et environnementaux concernant l'opération d'un système de traitement secondaire en mode boues activées, e.g., besoin en éléments nutritifs (azote et phosphore), production de biomasse, qualité des eaux traitées, etc. Les quatre méthodes sélectionnées ont été les suivantes [17] :

1. le Dosfolat (solution commerciale d'acide folique);
2. le peroxyde d'hydrogène (solution commerciale concentrée à 35%);
3. l'hypochlorite de sodium (solution commerciale concentrée à 10.3% de chlore libre); et
4. un sélecteur anoxie.

Le choix de ces différentes méthodes de contrôle du foisonnement filamentueux découle des points suivants [4,5,6,7] :

- l'utilisation du Dosfolat semble être une alternative intéressante à la chloration;
- le Ministère de l'environnement du Québec semble démontrer un intérêt pour l'utilisation du peroxyde d'hydrogène;
- la méthode la plus utilisée et efficace serait la chloration; et
- le sélecteur anoxie est une méthode «écologique» (n'utilisant pas de produits chimiques nocifs pour l'environnement).

### 3.4 Conditions expérimentales des différents bioréacteurs

Lors de notre étude sur le contrôle du foisonnement filamentueux, nous avons utilisé cinq bioréacteurs indépendants fonctionnant en mode boues activées [17] :

1. un bioréacteur témoin ne comportant aucun foisonnement filamentueux et donc aucun traitement;
2. un bioréacteur servant à évaluer la méthode utilisant le Dosfolat;

3. un bioréacteur employé pour coter la méthode utilisant le peroxyde d'hydrogène;
4. un bioréacteur servant à jauger la méthode utilisant l'hypochlorite de sodium; et
5. un bioréacteur employé pour juger la méthode utilisant un sélecteur anoxie.

Les conditions d'opérations des bioréacteurs utilisées lors de nos expérimentations furent comparables aux conditions industrielles en vigueur, soit le maintient d'un(e) [17] :

- pH autour de 7.0 – 7.5;
- température alentour de 30 - 35°C;
- niveau d'oxygène dissous près de 2.00 mg/L;
- temps de rétention hydraulique (TRH) autour de 12 heures;
- âge des boues (TRS) alentour de 10 jours; et
- rapport F/M (quantité de nourriture / quantité de microorganismes) près de 0.20 kg DBO<sub>5</sub> / kg SSVLM.

### 3.5 Procédure expérimentale

Nous avons séparé l'étude expérimentale en trois étapes distinctes pour atteindre nos différents objectifs [17] :

1. évaluation du contrôle du foisonnement filamenteux, par les différentes méthodes évaluées, en condition de stress;
2. duplication de l'étape 1 avec une nouvelle biomasse; et
3. évaluation du contrôle du foisonnement filamenteux, par les différentes méthodes évaluées, en condition normale d'opération.

Chacune de ces étapes fut divisées en trois intervalles spécifiques [17] :

1. stabilisation de la biomasse à un niveau normal d'opération (bonne qualité du traitement des eaux usées);
2. mise en place d'une condition précise favorisant le foisonnement filamenteux; et
3. contrôle du foisonnement filamenteux à l'aide des différentes méthodes évaluées et obtention de renseignements opérationnels, économiques et environnementaux.

Afin de favoriser la création d'un foisonnement filamenteux dans nos bioréacteurs, nous avons tout simplement réduit leur niveau d'oxygène dissous à une valeur d'environ 0.50 mg/L. Cette méthode fut très rapide et efficace sur la biomasse que nous avons utilisée [17].

Le contrôle du foisonnement filamenteux était démarré à partir du moment où tous les bioréacteurs évalués obtenaient une forte abondance relative de filaments et un indice du volume des boues variant autour de 400 mL/g. Conséquemment, l'efficacité du contrôle du foisonnement filamenteux était déterminée à l'aide de ces mêmes paramètres. Lorsque l'abondance relative [5] du bioréacteur était maintenue à une valeur basse et que ce dernier avait conservé une valeur d'IVB en dessous de 200 mL/g, le traitement était jugé efficient. Cette valeur d'IVB a été sélectionnée selon la classification des boues activées élaborée par Pipes (Tableau 2-1) [17,27].

Les différentes conditions d'opération et de traitement utilisées lors de notre étude furent basées sur les différents renseignements retrouvés dans la littérature. Dans le cas de la méthode de traitement utilisant le Dosfolat, les conditions furent suggérées par M. Richard Akerboom, de Bioprime Ltd [17].

### **3.5.1 Étape 1 : Évaluation du contrôle du foisonnement filamenteux en condition de stress**

Lors de la première étape de notre étude, nous avons réalisé un essai sur le potentiel des différentes méthodes de traitement sélectionnées à contrôler le foisonnement filamenteux. Les bioréacteurs traités étaient alors évalués selon leur type de traitement respectif. Le tableau 3-1 présente les conditions particulières d'opération et de traitement, des différents bioréacteurs, utilisées pour la première étape [17].

Les différents traitements utilisés pour le contrôle du foisonnement filamenteux étaient opérés en continu sous une concentration constante en produit chimique (ou sous un temps de rétention constant pour le sélecteur anoxie) [17].



Tableau 3-1 Conditions particulières d'opérations et de traitement des différents bioréacteurs pour l'étape 1

Réacteur	Méthode de traitement	Action	Charge	Oxygène dissous (mg/L)
# 1	Contrôle	Stabilisation	-	~ 2.00
		Contrôle	-	~ 2.00
# 2	Dosfolat	Stabilisation	-	~ 2.00
		Stress	-	~ 0.50
		Traitement	2.0 ppm	~ 0.50
# 3	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Stabilisation	-	~ 2.00
		Stress	-	~ 0.50
		Traitement	0.1 kg/T *	~ 0.50
# 4	NaOCl	Stabilisation	-	~ 2.00
		Stress	-	~ 0.50
		Traitement	4.0 kg/T *	~ 0.50
# 5	Sélecteur anoxie	Stabilisation	-	~ 2.00
		Stress	-	~ 0.50
		Traitement	45 minutes	~ 0.50

\* kg de produit de contrôle / tonne sèche de biomasse

2.0 ppm = 3.5 X 10<sup>-6</sup> kg/T

Un faible niveau d'oxygène dissous (0.50 mg/L) était maintenu lors du traitement afin de maintenir la biomasse des bioréacteurs sous des conditions favorisant le foisonnement filamenteux. Certains cas étudiés ont démontrés que le simple fait d'éliminer la «défiance» en oxygène dissous pouvait en soit résoudre la problématique du foisonnement filamenteux [4,5,6,7,24]. De ce fait, une carence continue en oxygène dissous nous permettait d'évaluer l'impact précis de la méthode de traitement évaluée et non pas sa synergie avec l'impact d'un niveau «normal» en oxygène dissous [17].

### 3.5.2 Étape 2 : Duplication de l'étape 1 avec une nouvelle biomasse

L'étape 2 fut en fait une duplication exacte de l'étape 1. Les conditions particulières d'opération et de traitement étaient donc identiques à l'étape 1 (Tableau 3-1). Toutefois, dans ce cas, une nouvelle biomasse a été utilisée. Celle-ci provenait cependant de la même source d'approvisionnement que la première biomasse. Nous voulions ainsi déterminer si les résultats étaient reproductibles avec une nouvelle biomasse [17].

### 3.5.3 Étape 3 : Évaluation du contrôle du foisonnement filamenteux en condition normale d'opération

L'étape 3 constitua également une étude sur le potentiel des différentes méthodes de traitement sélectionnées à contrôler le foisonnement filamenteux. Les conditions d'opérations furent les mêmes qu'à l'étape 1, à l'exception du niveau d'oxygène dissous utilisé en période de contrôle du foisonnement filamenteux. Dans ce cas, le niveau d'oxygène dissous des différents bioréacteurs traités fut rétabli à 2.00 mg/L. Nous voulions ainsi évaluer les méthodes de traitement sous une condition «normale» d'opération en oxygène dissous. De plus, lors de cette troisième étape, différentes charges en Dosfolat furent évaluées. Dans ce cas, nous avons procédé de la façon suivante [17] :

1. un traitement de départ (0.50 ppm) était utilisé jusqu'à l'atteinte de la valeur cible déterminée de l'indice de volume des boues, soit 200 mL/g; et
2. conséquemment la charge de traitement était réduite à 0.10 ppm.

Les conditions particulières d'opération et de traitement utilisées pour l'étape 3 sont présentées au tableau 3-2.

Tableau 3-2 Conditions particulières d'opérations et de traitement des bioréacteurs pour l'étape 3

Réacteur	Méthode de traitement	Action	Mode de traitement	Charge	Oxygène dissous (mg/L)
# 1	Contrôle	Stabilisation	-	-	~ 2.00
		Contrôle	-	-	~ 2.00
# 2	Dosfolat	Stabilisation	-	-	~ 2.00
		Stress	-	-	~ 0.50
		Traitement	Alternatif	0.5 ppm	~ 2.00
		Traitement	Maintenance	0.1 ppm	~ 2.00
# 3	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Stabilisation	-	-	~ 2.00
		Stress	-	-	~ 0.50
		Traitement	-	0.1 kg/T *	~ 2.00
# 4	NaOCl	Stabilisation	-	-	~ 2.00
		Stress	-	-	~ 0.50
		Traitement	-	4.0 kg/T *	~ 2.00
# 5	Dosfolat	Stabilisation	-	-	~ 2.00
		Stress	-	-	~ 0.50
		Traitement	-	2.0 ppm	~ 2.00

\* kg de produit de contrôle / tonne sèche de biomasse

2.0 ppm = 3.5 X 10<sup>-6</sup> kg/T

### 3.6 Paramètres contrôlés et méthodes d'analyse

#### 3.6.1 Paramètres contrôlés

Lors de notre étude, le contrôle de l'opération des bioréacteurs s'est effectué selon les principaux paramètres suivants [17] :

- le débit d'alimentation en eaux usées et le débit de recirculation de la biomasse dans le bioréacteur;
- la quantité d'azote et de phosphore ajoutée dans le bioréacteur;

- la température et le pH à l'intérieur du bioréacteur
- la concentration en oxygène dissous du bioréacteur;
- la concentration de biomasse dans le bioréacteur et dans le décanteur;
- la quantité de biomasse purgée; et
- la charge et le temps de rétention de chaque méthode de contrôle du foisonnement filamenteux utilisée.

Les principaux paramètres utilisés pour évaluer l'impact des différentes méthodes de contrôle du foisonnement filamenteux furent [17] :

- la consommation en azote et en phosphore;
- la production de biomasse du bioréacteur;
- le taux d'utilisation de l'oxygène;
- l'impact sur la diversité des microorganismes dans le bioréacteur;
- l'impact sur l'indice du volume des boues du bioréacteur;
- la qualité des eaux traitées (normes environnementales); et
- la capacité de drainage des boues produites.

Les fréquences de détermination des principaux paramètres évalués sont indiquées au tableau 3-3.

### **3.6.2 Méthodes d'analyse**

Les différentes analyses physico-chimiques effectuées lors de notre étude furent basées sur les méthodes d'analyse décrites dans le recueil de l'association technique des pâtes et papiers du Canada (ATCPP, Novembre 1998), sur les méthodes d'analyse décrites dans le manuel de la compagnie Hach (DR/4000 Spectrophotometer procedures manual, 1995), ainsi que sur différentes méthodes d'analyse retrouvées dans la littérature [5,17,24].

Tableau 3-3 Fréquences de la détermination des principaux paramètres évalués

Paramètres	Jour de la semaine						
	Dimanche	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi
pH, T°, OD	√	√	√	√	√	√	√
Débits *	√	√	√	√	√	√	√
SSLM, SSVLM du bioréacteur	√	√	√	√	√	√	√
SSLM, SSVLM du décanteur	√	√	√	√	√	√	√
VB, IVB	√	√	√	√	√	√	√
MES, MVES		√		√		√	
SD, SDV		√		√		√	
ST, STV		√		√		√	
DCO		√		√		√	
N & P		√		√		√	
TUO, TSUO		√		√		√	
Microscopie		√		√		√	
* Débits d'alimentation en eaux usées, en recirculation de la biomasse et en aération							

L'étude des types de microorganismes colonisant les bioréacteurs a principalement porté sur leur diversité et sur la caractérisation des flocons. À ces fins, différentes méthodes standardisées de colorations [5,17] ont été effectuées :

- coloration Gram;
- coloration Neisser;
- coloration à l'encre de chine; et
- test d'oxydation du soufre.

Avec l'aide de ces colorations, une identification des bactéries filamenteuses et de la faune colonisant les bioréacteurs a pu être réalisée au moyen de diverses clés d'identification de différentes sources [5,17,44,45] :

- «*Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming*» de Jenkins et ses collaborateurs;
- «*Wastewater organisms database*» de Victor Santa Cruz Productions; et
- «*L'Analyse écologique des boues activées*» de Bernard Vedry;

De plus, une estimation de l'abondance relative des filaments retrouvés dans les bioréacteurs a été réalisée à l'aide de la classification proposée par Jenkins et ses collaborateurs [5,17]. Cette classification est présentée au tableau 3-4.

Tableau 3-4 Abondance relative des filaments dans les flocons (Jenkins et al. 1993)

Valeur numérique	Abondance	Explication
0	Aucun	-
1	Peu	Filaments présents, mais seulement observés dans un floc à l'occasion.
2	Quelque	Filaments communément observés, mais pas présent dans tous les flocons.
3	Commun	Filaments observés dans tous les flocons, mais en faible densité, e.g., 1 à 5 filaments / floc.
4	Très commun	Filaments observés dans tous les flocons, en densité moyenne, e.g., 5 à 20 filaments / floc.
5	Abondant	Filaments observés dans tous les flocons, en grande densité, e.g., > 20 filaments / floc.
6	Excessif	Filaments présents dans tous les flocons – ensemble ressemblant plus à des filaments qu'à un floc et / ou croissances filamenteuses en bloc, en grande abondance dans la solution.

## Chapitre 4 - Résultats et Discussion

Il serait ici important de noter que les valeurs numériques des données expérimentales sont la propriété de Brenntag Canada. Elles ne sont donc pas incluses à l'intérieur de ce document.

### 4.1 Évaluation environnementale des eaux usées

Le tableau 4-1 présente l'évaluation environnementale des eaux usées utilisées lors de notre étude.

Tableau 4-1 Principales caractéristiques des eaux usées

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Incertitudes
pH	6.16	9.10	7.18	+/- 0.01
DCO totale	1560 mg/L	2500 mg/L	2100 mg/L	+/- 3 %
DCO soluble	1085 mg/L	1805 mg/L	1502 mg/L	+/- 3 %
ST	1568 mg/L	2400 mg/L	2132 mg/L	+/- 2 %
STV	1030 mg/L	1470 mg/L	1225 mg/L	+/- 2 %
MES	190 mg/L	504 mg/L	358 mg/L	+/- 1 %
MVES	164 mg/L	375 mg/L	321 mg/L	+/- 1 %
SD	1240 mg/L	2020 mg/L	1777 mg/L	+/- 2 %
SDV	730 mg/L	1060 mg/L	891 mg/L	+/- 2 %
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	2.39 mg/L	7.64 mg/L	4.89 mg/L	+/- 4 %
NH <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.100 mg/L	0.865 mg/L	0.489 mg/L	+/- 4 %
Ratio DCO: DBO <sub>5</sub> de l'usine ~ 3:1				

Cette évaluation est basée sur différents paramètres précis que nous avons choisi d'évaluer selon les méthodes d'analyse environnementales en vigueur [17].

## 4.2 Identification des microorganismes retrouvés dans nos bioréacteurs

Tel que décrit antérieurement, l'identification des microorganismes colonisant les bioréacteurs et a été réalisée au moyen de diverses clés et méthodes d'identification [5,17,44,45]. Les principaux types de bactéries filamenteuses identifiés furent [17] :

- *Thiothrix* I et II\*;
- *Nostocoida Limicola* II et III;
- type 021 N\*;
- type 0041;
- type 1851;
- type 0914\*;
- *Microthrix parvicella*; et
- microchampignons.

\* = Type dominant ou co-dominant.

Les principaux autres types de microorganismes retrouvés furent [17] :

- zooflagellés;
- *Sarcodina*: *Euglypha*, *Amoeba*;
- ciliés libres: *Aspidisca*, *Chilodonella*, *Coleps*, *Euplotes*, *Litonotus*, *Paramecium*, *Trachelophyllum*;
- ciliés fixes: *Epistylis*, *Opercularia*, *Tokophrya*, *Vorticella*;
- rotifères: *Adineta*, *Colurella*, *Digononta*, *Lecane*, *Lepadella*, *Monostyla*;
- *Gastrotriches*;
- nématodes; et
- *Aelosoma*.



### 4.3      **Étape 1 : Évaluation du contrôle du foisonnement filamenteux en condition de stress**

Lors de la première étape de notre étude, nous avons réalisé des essais sur le potentiel des différentes méthodes de traitement sélectionnées à contrôler le foisonnement filamenteux en condition de stress [17].

*Note 1* : Un faible niveau d'oxygène dissous (0.50 mg/L) était maintenu lors du traitement afin de maintenir la biomasse des bioréacteurs sous des conditions favorisant le foisonnement filamenteux [17].

*Note 2* : Lorsque l'abondance relative de filaments était maintenue basse et que le bioréacteur avait conservé une valeur d'IVB en dessous de 200 mL/g (IVB cible), le traitement était jugé efficient [17].

*Note 3* : Les eaux usées brutes utilisées pour l'étude contenaient suffisamment de phosphore pour répondre aux conditions normales de traitement par les différents bioréacteurs. Il nous fut donc impossible d'optimiser la concentration ajoutée dans les bioréacteurs. Cependant, nous avons tout de même pu mesurer la consommation en phosphore selon leur concentration résiduelle [17].

#### 4.3.1    **Analyse environnementale et contrôle du foisonnement filamenteux**

Les résultats de l'efficacité de traitement des eaux usées des différents bioréacteurs, pour l'étape 1, sont présentés au tableau 4-2. Lors de cette étape, nous avons maintenu nos différents bioréacteurs sous une concentration équivalente de biomasse variant autour de 3750 mg/L. Nous avons également maintenu une bonne qualité de traitement des eaux usées, équivalente aux systèmes industriels, pour tous les bioréacteurs. En général, les performances du bioréacteur traité au peroxyde d'hydrogène sont cependant demeurrées légèrement inférieures aux autres bioréacteurs [17].

Tableau 4-2 Efficacité de traitement des eaux usées, par les différents bioréacteurs, selon la réduction moyenne des principaux paramètres environnementaux – Étape 1

Bioréacteur	SSVLM (mg/L)	DCO totale (%)	STV (%)	MVES (%)	SDV (%)
1. Témoin	3649 +/- 219	82 +/- 4	81 +/- 3	92 +/- 2	77 +/- 2
2. Dosfolat	3832 +/- 268	77 +/- 3	77 +/- 4	92 +/- 2	75 +/- 3
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3724 +/- 223	72 +/- 5	74 +/- 5	87 +/- 3	67 +/- 6
4. NaOCl	3715 +/- 223	78 +/- 4	79 +/- 4	91 +/- 4	74 +/- 5
5. Sélecteur	3761 +/- 188	78 +/- 5	77 +/- 6	91 +/- 3	72 +/- 5

L'efficacité de contrôle du foisonnement filamenteux des différents bioréacteurs, selon l'IVB, est présentée au tableau 4-3.

Tableau 4-3 Efficacité du contrôle du foisonnement filamenteux, selon l'IVB, par les différents bioréacteurs – Étape 1

Bioréacteur	Charge chimique ou TR (*)	IVB initial (mL/g)	Temps pour atteindre l'IVB cible (jours)	IVB minimal obtenu (mL/g)
1. Témoin	-	-	-	127
2. Dosfolat	2.0 ppm	397	8	147
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.1 kg/T	399	6	166
4. NaOCl	4.0 kg/T	386	4	165
5. Sélecteur	45 minutes (*)	405	Objectif non atteint	353
(*) TR = Temps de rétention Incertitude sur l'IVB = 2.5 %				

Lors de cette étape, toutes les méthodes de traitement ont réussi à contrôler le foisonnement filamenteux à l'exception du sélecteur anoxie. L'échec de cette dernière peut être attribuable à divers facteurs [17] :

- un mauvais dimensionnement du volume du sélecteur (temps de rétention);
- une certaine incompatibilité avec le type de biomasse ou d'eaux usées utilisées; et/ou
- la présence d'un foisonnement filamenteux trop «austère» pour cette méthode.

En ce qui concerne les méthodes de traitement efficaces, elles ont toutes données un rendement maximal relativement semblable, i.e., IVB minimal relativement similaire. Par contre, si on se base sur le facteur temps, on peut s'apercevoir que la méthode utilisant l'hypochlorite de sodium a été la plus rapide. Cependant, il est important de noter que la vitesse d'action de ces méthodes de traitement est directement liée à la concentration du produit chimique ajouté et à la gravité du foisonnement filamenteux à contrôler [17].

Un autre indice du contrôle du foisonnement filamenteux est l'abondance relative des filaments dans les flocons décrite par Jenkins et al. (1993) (Tableau 3-4). Les résultats obtenus pour l'étape 1 sont présentés au tableau 4-4 [17].

Tableau 4-4 Abondance relative des filaments dans les flocons des différents bioréacteurs – Étape 1

Bioréacteur	Charge chimique ou TR (*)	Abondance initiale	Abondance minimale obtenue
1. Témoin	-	-	1
2. Dosfolat	2.0 ppm	6	3
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.1 kg/T	6	5
4. NaOCl	4.0 kg/T	6	2
5. Sélecteur	45 minutes	6	4
(*) TR = Temps de rétention			

En corrélant l'abondance relative de chaque bioréacteur à leur IVB minimal respectif, on constate un effet certain du Dosfolat et du NaOCl sur les bactéries filamenteuses, i.e. diminuant de moitié ou plus l'abondance relative. Cependant, même si l'IVB minimal du H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s'est classé dans les rangs du Dosfolat et du NaOCl, son effet sur les bactéries filamenteuses est moins évident. Même si les bactéries filamenteuses jouent un rôle important sur l'IVB, plusieurs autres facteurs peuvent influencer cet indice. Par exemple, la taille et la densité des flocons font varier la vitesse de clarification et la compaction des flocons dans le décanteur, jouant ainsi un rôle tout aussi important sur l'IVB. Dans le cas qui nous concerne, l'analyse des flocons du réacteur utilisant le H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a démontré une réduction de la taille des flocons en question durant la période de traitement correspon-

quant à son IVB minimal. Le  $H_2O_2$  semble alors avoir eu un impact plus important sur les flocons que sur les bactéries filamenteuses. Les flocons étant plus petits, il est possible de croire que les bactéries filamenteuses aient eu plus de difficulté à se rejoindre d'un flocc à l'autre. Cela aurait eu pour conséquence que les flocons, libérés de la «toile filamenteuse», puissent décanter et se compacter de façon plus efficace. La combinaison de ces effets aurait ainsi permis un meilleur indice de volume des boues [17].

#### 4.3.2 Analyse opérationnelle et économique

D'un point de vue économique, nous avons également examiné l'impact des différents traitements sur le taux spécifique d'utilisation de l'oxygène, la consommation en azote et en phosphore, et la production de biomasse des bioréacteurs évalués [17].

Le tableau 4-5 et la figure 4-1 présentent les résultats du taux spécifique moyen d'utilisation de l'oxygène, des différents bioréacteurs, pour l'étape 1. Le TSUO représente un indice de la «santé» de la biomasse, i.e. les microorganismes. En ce qui concerne les résultats de ce paramètre, presque toutes les biomasses traitées ont obtenu un résultat analogue au bioréacteur témoin. Le bioréacteur traité par le sélecteur anoxie a été le seul à obtenir un résultat légèrement supérieur. Donc, nous pouvons conclure que toutes les biomasses, des différents bioréacteurs, ont conservé un bon état de «santé» durant l'intervalle de traitement du foisonnement filamenteux [17].

Tableau 4-5 TSUO moyen des différents bioréacteurs – Étape 1

Bioréacteur	TSUO (mg $O_2$ /L/h/g)	
	Moyenne	(+/-)
1. Témoin	6.4	0.4
2. Dosfolat	6.6	0.4
3. $H_2O_2$	6.2	0.7
4. NaOCl	7.5	0.8
5. Sélecteur	8.0	0.8

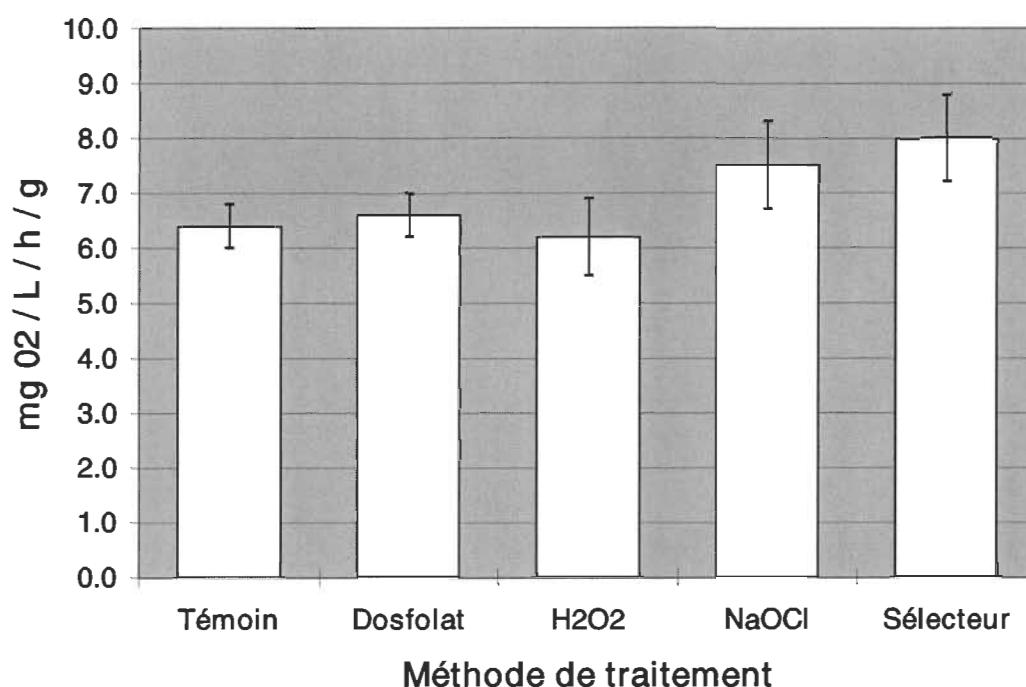


Figure 4-1 TSUO moyen des différents bioréacteurs – Étape 1

Selon ces derniers résultats, nous allons poser ici l'hypothèse qu'une meilleure utilisation de l'oxygène pourrait également signifier une plus faible consommation de celle-ci. Selon cette hypothèse, le bioréacteur traité par le sélecteur anoxie aurait ainsi consommé plus d'oxygène (moins bonne utilisation de celle-ci) pour obtenir des performances environnementales équivalentes aux autres bioréacteurs (Tableau 4-2) [17].

L'analyse de l'abondance relative moyenne de la faune des différents bioréacteurs peut aussi nous servir d'indicateur visuel de l'état de «santé» de la biomasse, i.e, microorganismes. Ces résultats sont présentés au tableau 4-6 et à la figure 4-2. Selon les résultats obtenus, nous pouvons constater que tous les bioréacteur traités ont maintenu une plus grande abondance d'organismes proportionnellement au bioréacteur témoin. Ces résultats sont surprenant étant donné le fait que ces bioréacteurs subissaient un stress en oxygène dissous, en plus d'un contrôle chimique ou mécanique, alors que le bioréacteur témoin était maintenu en condition normale d'opération. Malgré tout, il faut se rappeler que tous les bioréacteurs ont obtenu des performances environnementales analogues (Tableau 4-2) [17].

Tableau 4-6 Abondance relative moyenne de la faune des différents bioréacteurs – Étape 1

Bioréacteur	Abondance relative *	C.L. (%)	C.F. (%)	Rotifères (%)	Flagellés (%)	Amibes (%)	Nématodes (%)
1. Témoin	3	58	20	19	2	1	0
2. Dosfolat	2	66	10	12	11	1	0
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1	67	14	13	0	6	0
4. NaOCl	2	75	22	3	0	0	0
5. Sélecteur	2	85	12	3	0	0	0

\* (1) = Abondance relative la plus grande C.L. = Ciliés libres C.F. = Ciliés fixes

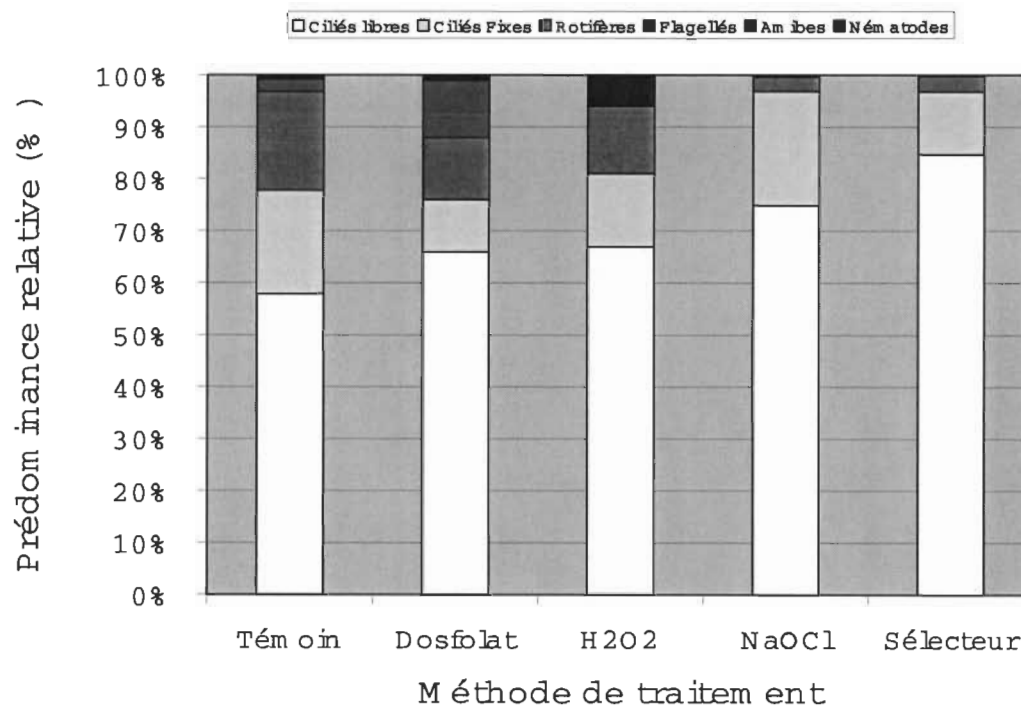


Figure 4-2 Prédominance relative moyenne de la faune des différents bioréacteurs – Étape 1

Le tableau 4-7 et les figures 4-3 et 4-4, présentent les résultats de la consommation moyenne en azote et phosphore, par les différents bioréacteurs, pour l'étape 1 [17].

Tableau 4-7 Consommation moyenne en azote et phosphore par les différents bioréacteurs – Étape 1

Bioréacteur	Consommation en azote (kg N / T SSVLM)		Consommation en phosphore (kg P / T SSVLM)	
	Moyenne	(+/-)	Moyenne	(+/-)
1. Témoin	4.2	0.4	0.38	0.04
2. Dosfolat	5.3	0.5	0.35	0.02
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	5.1	0.4	0.35	0.04
4. NaOCl	5.1	0.5	0.39	0.03
5. Sélecteur	5.1	0.5	0.37	0.03

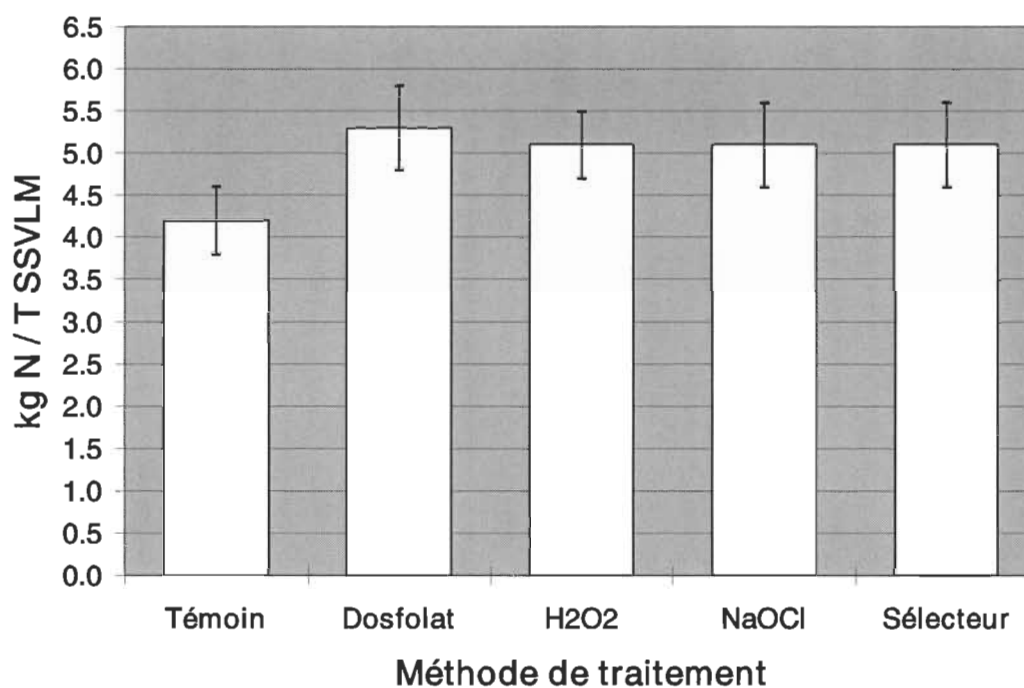


Figure 4-3 Consommation moyenne en azote par les différents bioréacteurs – Étape 1

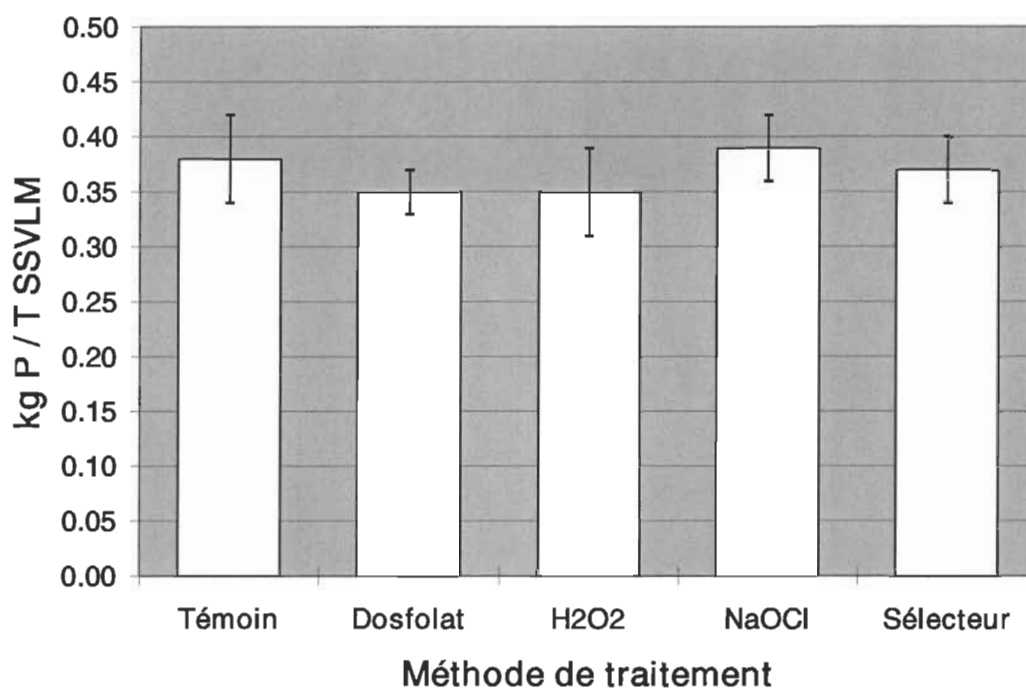


Figure 4-4 Consommation moyenne en phosphore par les différents bioréacteurs – Étape 1

Sous les conditions expérimentales de cette étape, tous les bioréacteurs traités ont consommé une quantité supérieure ou équivalente d'azote comparativement au bioréacteur témoin. Confrontés entre eux, les bioréacteurs traités ont cependant consommé une quantité équivalente d'azote. Au niveau de la consommation moyenne en phosphore, toutes les biomasses traitées ont obtenu un résultat analogue au bioréacteur témoin [17].

Le tableau 4-8 et la figure 4-5 présentent les résultats de la production moyenne de biomasse, des différents bioréacteurs, pour l'étape 1. Sous les conditions expérimentales de cette étape, tous les bioréacteurs traités ont produits une quantité de biomasse proportionnelle au bioréacteur témoin [17].



Tableau 4-8 Production moyenne de biomasse par les différents bioréacteurs – Étape 1

Bioréacteur	Production de biomasse (g SSVLM / g DCO.j)	
	Moyenne	(+/-)
1. Témoin	0.16	0.03
2. Dosfolat	0.21	0.03
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.17	0.02
4. NaOCl	0.16	0.02
5. Sélecteur	0.16	0.02

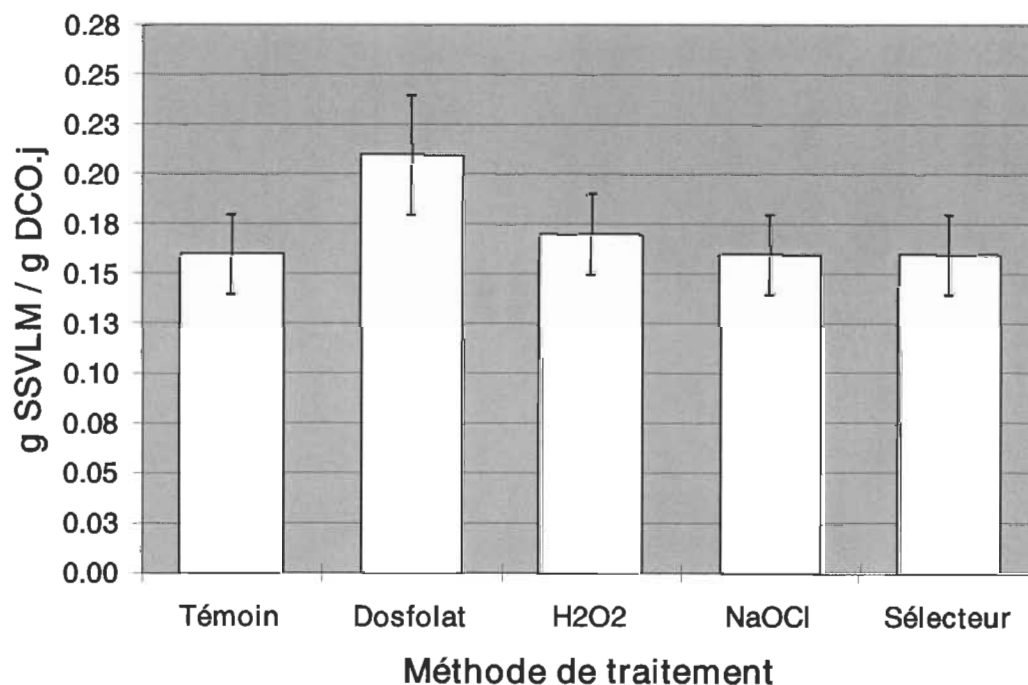


Figure 4-5 Production moyenne de biomasse par les différents bioréacteurs – Étape 1

#### 4.4 Étape 2 : Duplication de l'étape 1 avec une nouvelle biomasse

L'étape 2 fut en fait une duplication exacte de l'étape 1. Les conditions particulières d'opération et de traitement étaient donc identiques à l'étape 1 (Tableau 3-1). Toutefois, dans ce cas, une nouvelle biomasse a été utilisée. Celle-ci provenait cependant de la même source d'approvisionnement que la première biomasse. Nous voulions ainsi déterminer si les résultats étaient reproductibles avec une nouvelle biomasse [17].

*Note 1* : Un faible niveau d'oxygène dissous (0.50 mg/L) était maintenu lors du traitement afin de maintenir la biomasse des bioréacteurs sous des conditions favorisant le foisonnement filamenteux [17].

*Note 2* : Lorsque l'abondance relative de filaments était maintenue basse et que le bioréacteur avait conservé une valeur d'IVB en dessous de 200 mL/g (IVB cible), le traitement était jugé efficient [17].

*Note 3* : Les eaux usées brutes utilisées pour l'étude contenaient suffisamment de phosphore pour répondre aux conditions normales de traitement par les différents bioréacteurs. Il nous fut donc impossible d'optimiser la concentration ajoutée dans les bioréacteurs. Cependant, nous avons tout de même pu mesurer la consommation en phosphore selon leur concentration résiduelle [17].

#### 4.4.1 Analyse environnementale et contrôle du foisonnement filamenteux

Les résultats de l'efficacité de traitement des eaux usées des différents bioréacteurs, pour l'étape 2, sont présentés au tableau 4-9.

Tableau 4-9 Efficacité de traitement des eaux usées, par les différents bioréacteurs, selon la réduction moyenne des principaux paramètres environnementaux – Étape 2

Bioréacteur	SSVLM (mg/L)	DCO totale (%)	STV (%)	MVES (%)	SDV (%)
1. Témoin	3720 +/- 298	83 +/- 5	80 +/- 5	90 +/- 4	76 +/- 6
2. Dosfolat	3720 +/- 260	79 +/- 4	75 +/- 4	94 +/- 1	69 +/- 6
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3478 +/- 139	75 +/- 3	73 +/- 3	94 +/- 1	61 +/- 6
4. NaOCl	3482 +/- 139	80 +/- 2	77 +/- 4	96 +/- 1	69 +/- 6
5. Sélecteur	3630 +/- 290	82 +/- 4	81 +/- 4	93 +/- 1	75 +/- 5

Lors de cette étape, nous avons maintenu nos différents bioréacteurs sous une concentration équivalente de biomasse variant autour de 3600 mg/L. Nous avons également maintenu une bonne qualité de traitement des eaux usées, équivalente aux systèmes indus-

triels, pour tous les bioréacteurs. En général, les performances du bioréacteur traité au peroxyde d'hydrogène ont cependant demeurer, encore une fois, légèrement inférieures aux autres bioréacteurs [17].

Les résultats de l'efficacité du contrôle du foisonnement filamenteux, pour l'étape 2, sont présentés aux tableaux 4-10 et 4-11.

Tableau 4-10 Efficacité du contrôle du foisonnement filamenteux, selon l'IVB, par les différents bioréacteurs – Étape 2

Bioréacteur	Charge chimique ou TR (*)	IVB initial (mL/g)	Temps pour atteindre l'IVB cible (jours)	IVB minimal obtenu (mL/g)
1. Témoin	-	-	-	110
2. Dosfolat	2.0 ppm	446	Objectif non atteint	376
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.1 kg/T	420	Objectif non atteint	391
4. NaOCl	4.0 kg/T	415	Objectif non atteint	337
5. Sélecteur	45 minutes (*)	417	Objectif non atteint	388
(*) TR = Temps de rétention Incertitude sur l'IVB = 2.5 %				

Tableau 4-11 Abondance relative des filaments dans les flocons des différents bioréacteurs – Étape 2

Bioréacteur	Charge chimique ou TR (*)	Abondance initiale	Abondance minimale obtenue
1. Témoin	-	-	2
2. Dosfolat	2.0 ppm	5	4
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.1 kg/T	6	5
4. NaOCl	4.0 kg/T	5	4
5. Sélecteur	45 minutes (*)	6	5
(*) TR = Temps de rétention			

Les résultats obtenus lors de cette étape démontrent en fait qu'aucune méthode de contrôle n'a permis de résoudre la problématique du foisonnement filamenteux. Comme à l'étape 1, nous avons utilisé un faible débit en oxygène pour créer notre foisonnement filamenteux. Ce stress fut également maintenu durant le traitement des différents bio-

réacteurs. Cependant, il semble que le stress subi par les différents bioréacteurs traités, lors de cette deuxième étape, fut plus important que leurs capacités à bien réagir aux divers traitements [17].

#### 4.4.2 Analyse opérationnelle et économique

Afin de comprendre ce qui s'est passé lors de la deuxième étape, nous avons aussi vérifié l'état de «santé» de nos biomasses, i.e, microorganismes. Il est à noter que les autres analyses (consommation en azote et phosphore, puis production de biomasse) ne seront pas évaluées pour cette étape, car le contrôle du foisonnement filamenteux n'a pas eu lieu. Ces renseignements d'ordre économique, récupérés pendant un état constant d'instabilité de la part des divers bioréacteurs traités, n'apportaient rien à la compréhension des échecs des différentes méthodes de contrôle [17].

Les résultats de l'analyse de l'état de «santé», des différents bioréacteurs, sont présentés au tableau 4-12 et 4-13, ainsi qu'à la figure 4-6 et 4-7 [17].

Tableau 4-12 TSUO moyen des différents bioréacteurs – Étape 2

Bioréacteur	TSUO (mg O <sub>2</sub> /L/h/g)	
	Moyenne	(+/-)
1. Témoin	8.1	0.5
2. Dosfolat	3.1	0.5
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4.6	0.2
4. NaOCl	6.1	0.5
5. Sélecteur	7.8	0.3

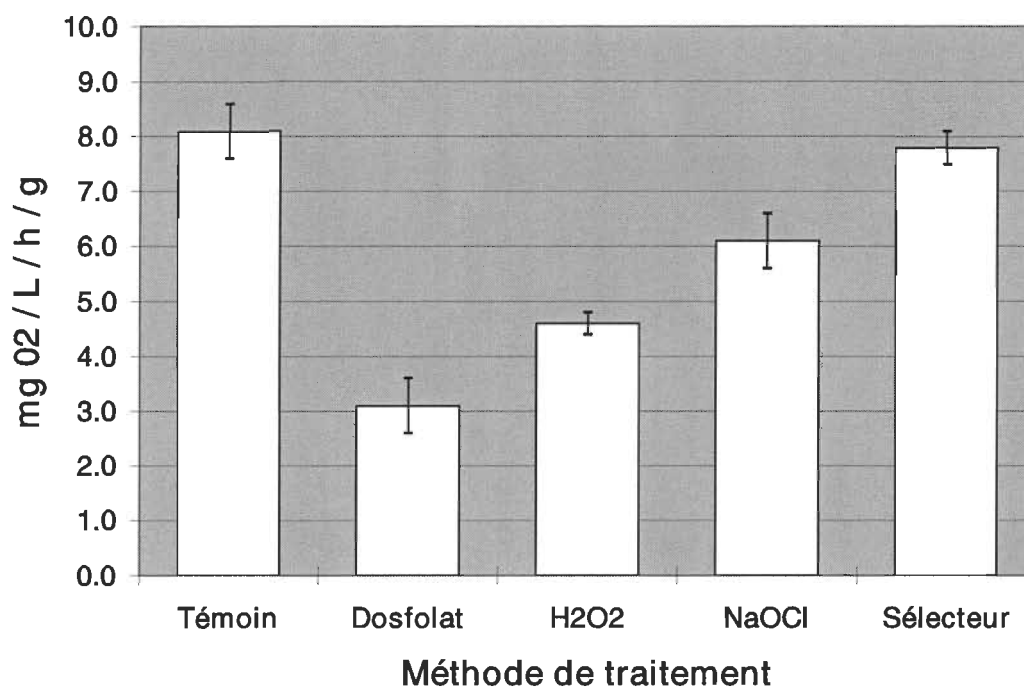


Figure 4-6 TSUO moyen des différents bioréacteurs – Étape 2

Tableau 4-13 Abondance relative moyenne de la faune des différents bioréacteurs – Étape 2

Bioréacteur	Abondance relative *	C.L. (%)	C.F. (%)	Rotifères (%)	Flagellés (%)	Amibes (%)	Nématodes (%)
1. Témoin	1	78	12	8	2	0	0
2. Dosfolat	1	89	10	0	1	0	0
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3	62	36	1	1	0	0
4. NaOCl	1	60	40	0	0	0	0
5. Sélecteur	2	56	44	0	0	0	0

\* (1) = Abondance relative la plus grande C.L. = Ciliés libres C.F. = Ciliés fixes

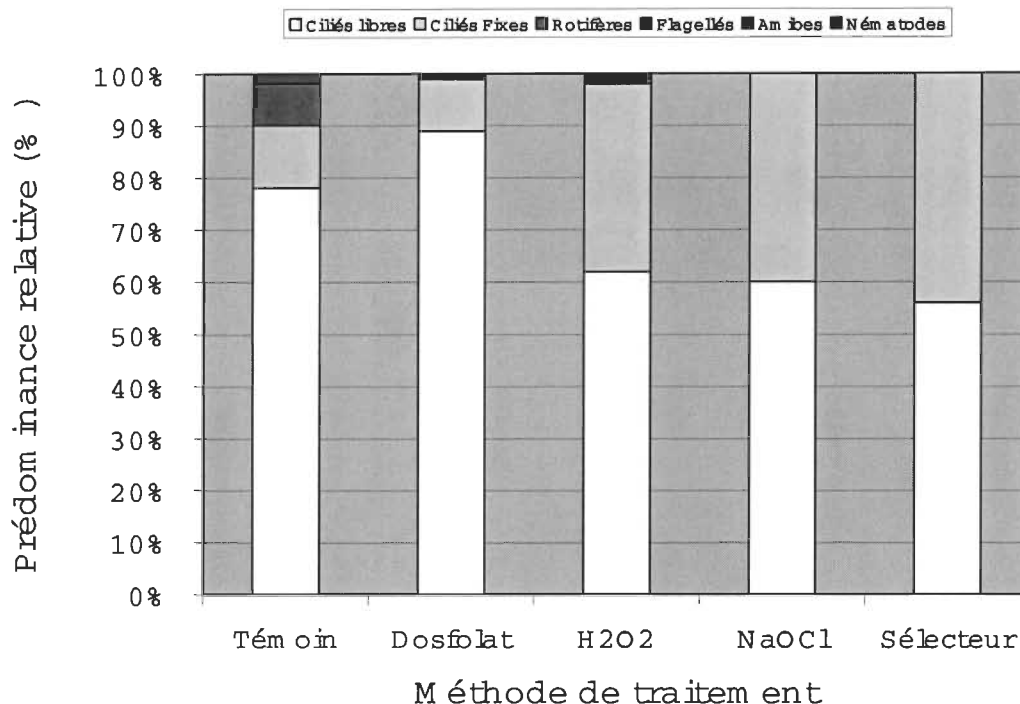


Figure 4-7 Prédominance relative de la faune des différents bioréacteurs – Étape 2

Si on examine les résultats du TSUO moyen (Tableau 4-12 & Figure 4-6), on voit que le bioréacteur traité au moyen du sélecteur anoxie a obtenu un résultat analogue au bioréacteur témoin, même s'il était maintenu en conditions de stress en oxygène dissous (0.5 mg/L). Dans tous les autres cas, on constate un impact significatif sur le TSUO, i.e., réduction importante. Donc, nous pouvons ici conclure que l'état de «santé» des biomasses traitées chimiquement a été ébranlé durant l'intervalle de traitement du foisonnement filamenteux. Malgré tout, il faut se rappeler que tous les bioréacteurs ont obtenu des performances environnementales analogues (Tableau 4-2) [17].

Si on observe maintenant les résultats de l'analyse de l'abondance relative moyenne de la faune des différents bioréacteurs (Tableau 4-13 & Figure 4-7), il apparaît que les bioréacteurs traités au Dosfolat et au NaOCl ont maintenu une abondance relative similaire au bioréacteur témoin. En revanche, les bioréacteurs traités au moyen de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et du sélecteur anoxie ont maintenu une plus faible abondance relative proportionnellement au bioréacteur témoin. Selon ces renseignements, l'impact des différents traitements sur l'état de «santé» de leur biomasse demeure ambigu, sauf dans le cas du traitement au

peroxyde d'hydrogène. Suite à ce dernier point, on peut d'ailleurs observer qu'il y a eu, conséquemment, un impact sur les performances environnementales reliées à ce type de traitement (Tableau 4-2) [17].

L'échec des différents traitements à contrôler le foisonnement filamenteux peut résulter de multiples facteurs reliés entre eux ou non. Il est possible que la concentration des produits chimiques utilisés (ou le temps de rétention du sélecteur anoxie) n'étaient pas suffisante mener à bien le contrôle du foisonnement filamenteux. Comme ces concentrations (ou temps de rétention) avaient été efficaces à la première étape, il serait donc plausible de spéculer que le foisonnement filamenteux créer dans nos bioréacteurs, lors de la deuxième étape, était plus sérieux que celui de l'étape précédente. C'est, selon toute vraisemblance, la tendance générale que semble nous indiquer les résultats que nous avons obtenus [17].

#### **4.5      Étape 3 : Évaluation du contrôle du foisonnement filamenteux en condition normale d'opération**

Lors de la troisième étape de notre étude, nous avons réalisé des essais sur le potentiel des différentes méthodes de traitement sélectionnées à contrôler le foisonnement filamenteux en condition normale d'opération [17].

*Note 1 :* Le degré d'oxygène dissous, dans les bioréacteurs traités, était ajusté à un niveau normal d'opération (2.00 mg/L) lors du contrôle du foisonnement filamenteux [17].

*Note 2 :* Lorsque l'abondance relative de filaments était maintenue à une valeur basse et que le bioréacteur avait conservé une valeur d'IVB en dessous de 200 mL/g (IVB cible), le traitement était jugé efficace [17].

*Note 3 :* Les eaux usées brutes utilisées pour l'étude contenaient suffisamment de phosphore pour répondre aux conditions normales de traitement par les différents bioréacteurs. Il nous fut donc impossible d'optimiser la concentration ajoutée

dans les bioréacteurs. Cependant, nous avons tout de même pu mesurer la consommation en phosphore selon leur concentration résiduelle [17].

*Note 4 :* Étant donné que le bioréacteur traité muni d'un sélecteur anoxie n'avait pas réussi à contrôler le foisonnement filamenteux lors de l'étape 1 et 2, le sélecteur a été remplacé, lors de l'étape 3, par un traitement supplémentaire au Dosfolat. Ceci nous a permis d'effectuer plus d'analyses sur cette méthode de contrôle, afin de nous permettre d'obtenir plus de renseignement à son sujet. Afin de différencier les deux traitements aux Dosfolat, nous appellerons ici Dosfolat 1, le traitement sous une charge de 0.5 à 0.1 ppm, et Dosfolat 2, le traitement sous une charge de 2.0 ppm [17].

#### 4.5.1 Analyse environnementale et contrôle du foisonnement filamenteux

Les résultats de l'efficacité de traitement des eaux usées des différents bioréacteurs, pour l'étape 3, sont présentés au tableau 4-14. Lors de cette étape, nous avons maintenu nos différents bioréacteurs sous une concentration équivalente de biomasse variant autour de 3800 mg/L. Nous avons également maintenu une bonne qualité de traitement des eaux usées, équivalente aux systèmes industriels, pour tous les bioréacteurs [17].

Tableau 4-14 Efficacité de traitement des eaux usées, par les différents bioréacteurs, selon la réduction moyenne des principaux paramètres environnementaux – Étape 3

Bioréacteur	SSVLM (mg/L)	DCO totale (%)	STV (%)	MVES (%)	SDV (%)
1. Témoin	3731 +/- 336	83 +/- 4	81 +/- 6	91 +/- 4	76 +/- 6
2. Dosfolat 1	3703 +/- 333	82 +/- 4	81 +/- 5	90 +/- 4	75 +/- 6
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3790 +/- 190	80 +/- 4	78 +/- 5	94 +/- 2	70 +/- 5
4. NaOCl	3742 +/- 337	85 +/- 3	82 +/- 4	95 +/- 3	76 +/- 4
5. Dosfolat 2	4016 +/- 361	83 +/- 1	82 +/- 2	95 +/- 2	75 +/- 1

L'efficacité de contrôle du foisonnement filamenteux des différents bioréacteurs, selon l'IVB, est présentée au tableau 4-15. Selon ces résultats, seulement deux méthodes réus-



sirent à contrôler le foisonnement filamenteux, e.g., Dosfolat 1 et hypochlorite de sodium. Suite à l'échec de la méthode utilisant le peroxyde d'hydrogène, sous une charge de 0.1 kg/T, nous avons décidé conséquemment d'augmenter cette charge à 0.2 kg/T afin de voir si un impact pouvait être détecté. Le traitement, sous cette nouvelle charge, n'a cependant pas permis de contrôler le foisonnement filamenteux, en plus de créer un impact négatif sur les performances environnementales du bioréacteur. À cause de ces résultats négatifs, nous avons décidé de ne pas augmenter la charge de nouveau. Conséquemment, nous n'avons pas jugé nécessaire de présenter les résultats obtenus sous cette charge [17].

Tableau 4-15 Efficacité du contrôle du foisonnement filamenteux, selon l'IVB, par les différents bioréacteurs – Étape 3

Bioréacteur	Charge chimique	IVB initial (mL/g)	Temps pour atteindre l'IVB cible (jours)	IVB minimal obtenu (mL/g)
1. Témoin	-	-	-	86
2. Dosfolat 1	0.5 ppm	417	7	200
	0.1 ppm	200	-	36
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.1 kg/T	414	Objectif non atteint	408
4. NaOCl	4.0 kg/T	431	9	97
5. Dosfolat 2	2.0 ppm	399	Objectif non atteint	362
Incertitude sur l'IVB = 2.5 %				

En ce qui concerne les méthodes de traitement efficaces, elles ont toutes données un rendement maximal intéressant, e.g., IVB minimal plus bas que 100 mL/g. Par contre, si on se base sur le facteur temps, on peut voir que la méthode utilisant le Dosfolat 1 a été la plus rapide. Cependant, il est important de noter que la vitesse d'action de ces méthodes de traitement est directement liée à la concentration du produit chimique ajouté et à la gravité du foisonnement filamenteux à contrôler. Malgré tout, il est intéressant de noter

que tous les bioréacteurs ont obtenu des performances environnementales analogues (Tableau 4-2) [17].

Un autre indice du contrôle du foisonnement filamenteux est l'abondance relative des filaments dans les flocons (réf.: Tableau 3-4). Les résultats obtenus pour l'étape 3 sont présentés au tableau 4-16. En corrélant l'abondance relative de chacun à leur IVB minimal respectif, on constate un effet certain du Dosfolat 1 et de l'hypochlorite de sodium sur les bactéries filamenteuses, i.e. l'abondance relative passant de 5 à 2 [17].

Tableau 4-16 Abondance relative des filaments dans les flocons des différents bioréacteurs – Étape 3

Bioréacteur	Charge chimique	Abondance initiale	Abondance minimale obtenue
1. Témoin	-	-	2
2. Dosfolat 1	0.5 à 0.1 ppm	5	2
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.1 kg/T	6	5
4. NaOCl	4.0 kg/T	5	2
5. Dosfolat 2	2.0 ppm	4	3

La figure 4-8 illustre le contrôle du foisonnement filamenteux par le traitement au Dosfolat 1. Le traitement au Dosfolat, sous une charge de 0.5 ppm, a permis de contrôler le foisonnement filamenteux et d'atteindre la valeur cible de l'IVB, i.e. 200 mL/g, en 7 jours. Par la suite, une charge de maintenance, i.e. 0.1 ppm, fut utilisée afin de préserver le contrôle du foisonnement et d'en évaluer les avantages économiques. Nous pouvons observer que cette faible dose a permis de maintenir l'IVB du bioréacteur à un niveau acceptable. Le niveau d'IVB anormalement élevé du bioréacteur témoin, à la fin du graphique, était dû à un bris de sa pompe d'alimentation qui eu lieu quelques jours auparavant. Comme le bris est survenu au cours de la nuit, nous n'avons pu remplacer la pompe avant le lendemain matin. Ceci a eu pour conséquence la formation excessive d'exopolymères bactériens, dû à un manque d'éléments nutritifs. Cette concentration importante d'exopolymères diminua grandement le stade de clarification et fit donc significativement augmenter l'IVB. Théoriquement, sa valeur d'IVB aurait eu tendance à se maintenir à des valeurs entre 50 et 150 mL/g [17].

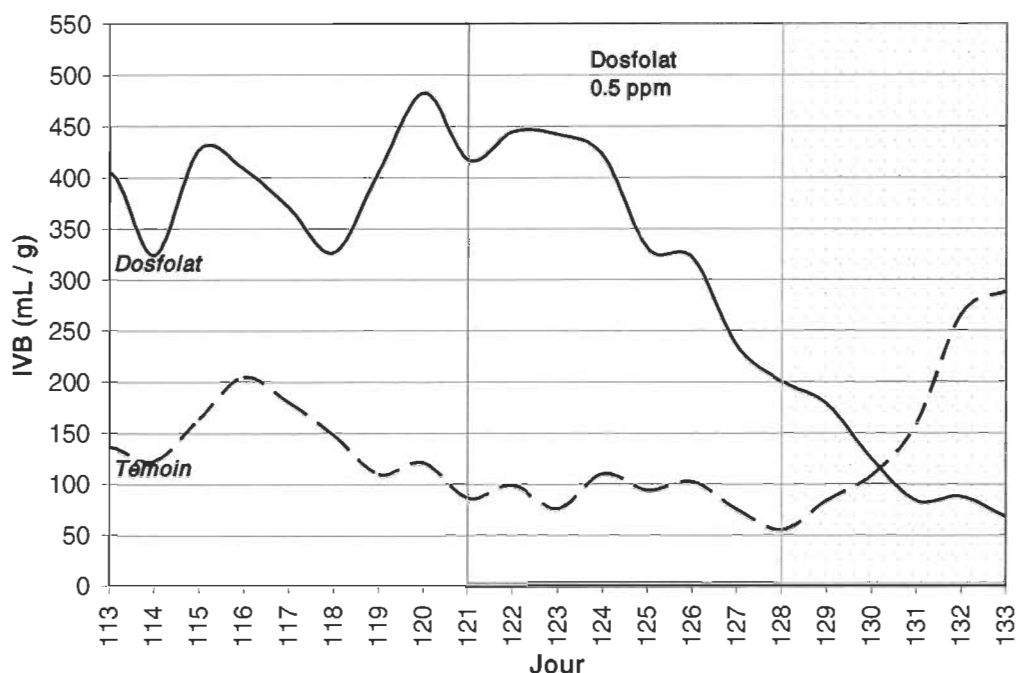


Figure 4-8 Contrôle de l'IVB par un traitement au Dosfolat – Étape 3

#### 4.5.2 Analyse opérationnelle et économique

D'un point de vue économique, nous avons également examiné l'impact des différents traitements sur le taux spécifique d'utilisation de l'oxygène, la consommation en azote et en phosphore, et la production de biomasse des bioréacteurs évalués [17].

Le tableau 4-17 et la figure 4-9 présentent les résultats du taux spécifique moyen d'utilisation de l'oxygène, des différents bioréacteurs, pour l'étape 3. Le TSUO représente un indice de la «santé» de la biomasse, i.e. microorganismes. En ce qui a trait à ce paramètre, le bioréacteur traité par le Dosfolat 1 a permis d'obtenir un TSUO moyen analogue au bioréacteur témoin. Comparativement au bioréacteur témoin, on constate également que tous les autres traitements ont eu un impact important sur le TSUO, i.e. réduction significative du TSUO. Le bioréacteur traité au Dosfolat 2, celui traité à l'hypochlorite de sodium, ainsi que celui traité au peroxyde d'hydrogène, sont ceux qui ont obtenu le TSUO moyen le plus bas, i.e. autour de 5.0 mg O<sub>2</sub>/L/h/g. Hypothétiquement, ils seraient ainsi ceux qui auraient obtenu la meilleure utilisation de l'oxygène, pour des performances environnementales similaires aux autres bioréacteurs. Cependant,

deux de ces derniers n'ont pas réussi à contrôler le foisonnement filamenteux. Donc, ce sont le bioréacteur traité au Dosfolat 1, et celui traité à l'hypochlorite de sodium, qui remporte le titre [17].

Tableau 4-17 TSUO moyen des différents bioréacteurs – Étape 3

Bioréacteur	TSUO (mg O <sub>2</sub> /L/h/g)	
	Moyenne	(+/-)
1. Témoin	8.4	0.6
2. Dosfolat 1	7.3	0.6
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4.9	0.6
4. NaOCl	5.9	0.9
5. Dosfolat 2	4.3	0.7

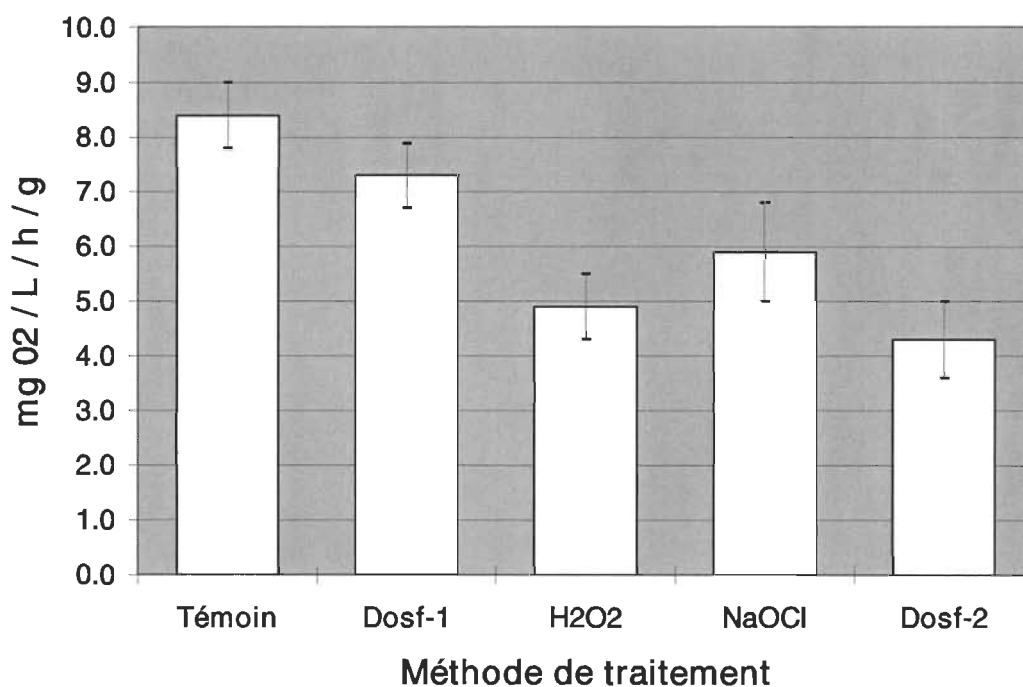


Figure 4-9 TSUO moyen des différents bioréacteurs – Étape 3

Les résultats de l'abondance relative moyenne de la faune des différents sont présentés au tableau 4-18 et à la figure 4-10 [17].

Tableau 4-18 Abondance relative moyenne de la faune des différents bioréacteurs – Étape 3

Bioréacteur	Abondance relative *	C.L. (%)	C.F. (%)	Rotifères (%)	Flagellés (%)	Amibes (%)	Nématodes (%)
1. Témoin	2	75	14	9	2	0	0
2. Dosfolat 1	1	54	25	17	0	4	0
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3	75	24	1	0	1	0
4. NaOCl	3	52	32	6	3	7	0
5. Dosfolat 2	1	87	13	0	0	0	0

\* (1) = Abondance relative la plus grande C.L. = Ciliés libres C.F. = Ciliés fixes

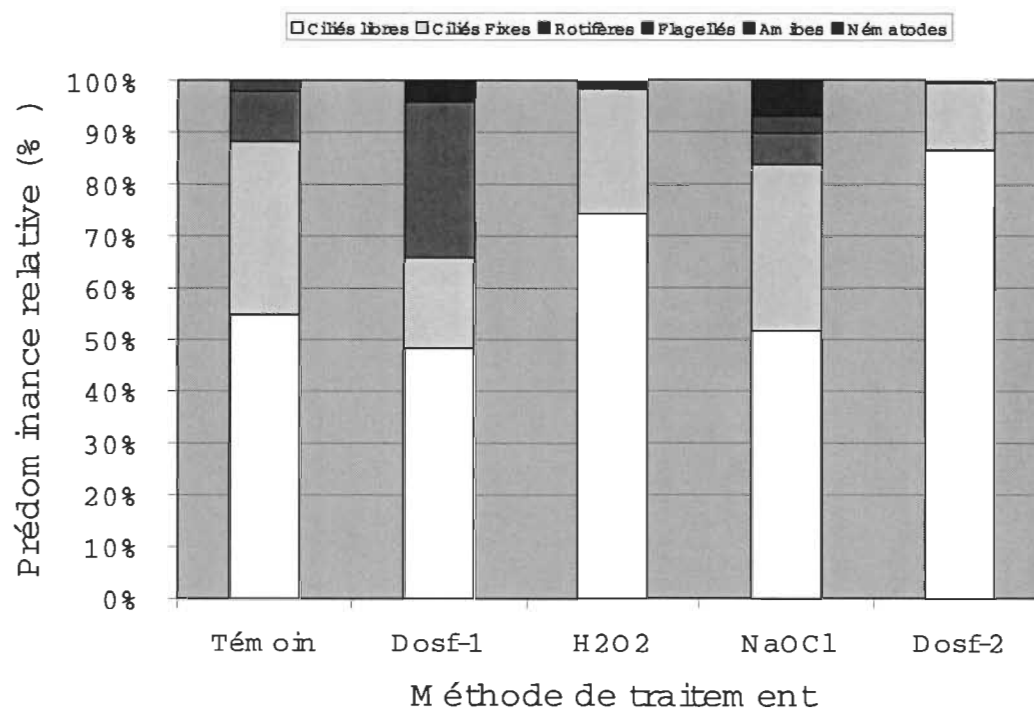


Figure 4-10 Prédominance relative moyenne de la faune des différents bioréacteurs – Étape 3

Selon les résultats obtenus, nous pouvons voir que le bioréacteur traité au Dosfolat 1, ainsi que celui traité au Dosfolat 2, ont conservé une plus grande abondance relative proportionnellement au bioréacteur témoin. En revanche, le bioréacteur traité au peroxyde d'hydrogène, ainsi que celui traité à l'hypochlorite de sodium, ont maintenu une plus faible abondance relative comparativement au bioréacteur témoin. On peut donc conclure que les impacts négatifs de certains traitements, sur l'état de «santé» des microorganismes, ne semblent pas être retrouvés lors de l'utilisation du Dosfolat sous de faible concentration, i.e. 0.5 à 0.1 ppm [17].

La figure 4-11 nous illustre l'effet du traitement Dosfolat 1 sur la diversité relative de la faune.

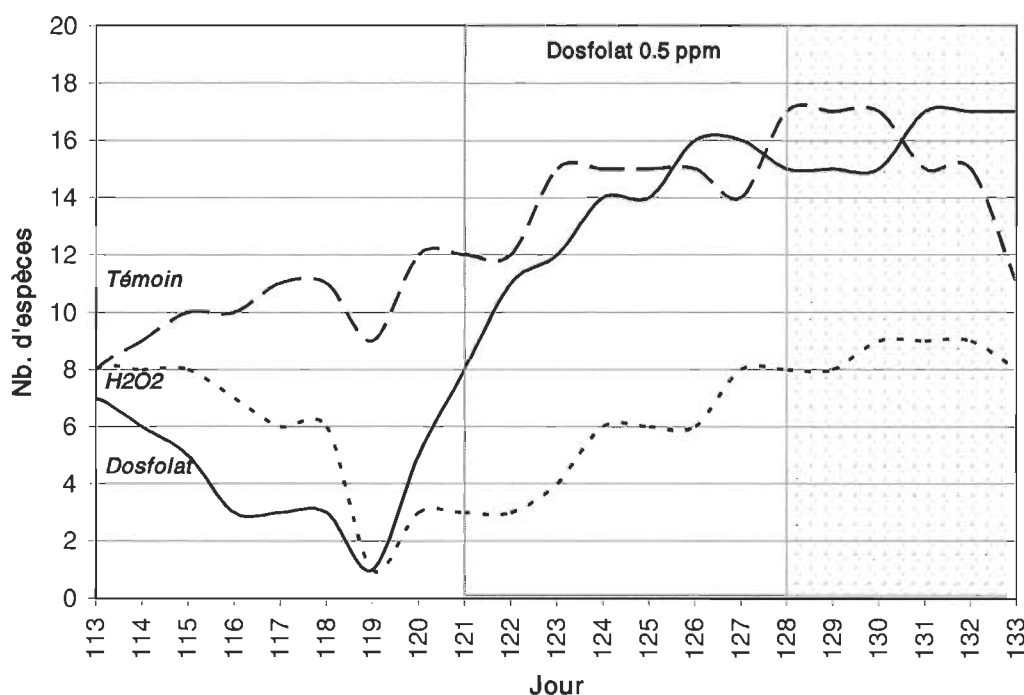


Figure 4-11 Effet du Dosfolat sur la diversité de la faune – Étape 3

Comparativement au bioréacteur témoin et celui traité au peroxyde d'hydrogène, nous pouvons observer l'impact positif du Dosfolat sur le maintien d'une bonne diversité des microorganismes à l'intérieur du bioréacteur. La chute de diversité du bioréacteur témoin, à la fin du graphique, résultait du bris de la pompe d'alimentation de ce bioréacteur eu également un impact direct sur les différentes populations de la faune. Théori-

quement, la diversité du bioréacteur témoin aurait dû se maintenir à un niveau similaire aux journées précédentes.

Le tableau 4-19, les figures 4-12 et 4-13, présentent les résultats de la consommation moyenne en azote et phosphore, par les différents bioréacteurs, pour l'étape 3. Au cours de cette étape, le bioréacteur traité au Dosfolat 1 fut le plus performant, i.e., il a obtenu une meilleure consommation moyenne en azote (plus faible) que celle du bioréacteur témoin. Les autres traitements ont obtenu un résultat équivalent au bioréacteur témoin. En ce qui concerne la consommation moyenne en phosphore, des divers bioréacteurs traités, les impacts furent totalement différents. Sous les conditions expérimentales utilisées, tous les bioréacteurs traités ont consommé une quantité supérieure de phosphore proportionnellement au bioréacteur témoin. Ces derniers ont toutefois consommé des quantités analogues entre eux, i.e. consommation moyenne variant alentour de 0.47 kg P / T SSVLM [17].

Tableau 4-19 Consommation moyenne en azote et phosphore par les différents bioréacteurs – Étape 3

Bioréacteur	Consommation en azote (kg N / T SSVLM)		Consommation en phosphore (kg P / T SSVLM)	
	Moyenne	(+/-)	Moyenne	(+/-)
1. Témoin	6.0	0.6	0.33	0.05
2. Dosfolat 1	4.2	0.7	0.44	0.03
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	5.9	0.3	0.46	0.02
4. NaOCl	5.1	0.6	0.51	0.04
5. Dosfolat 2	6.7	0.6	0.46	0.02

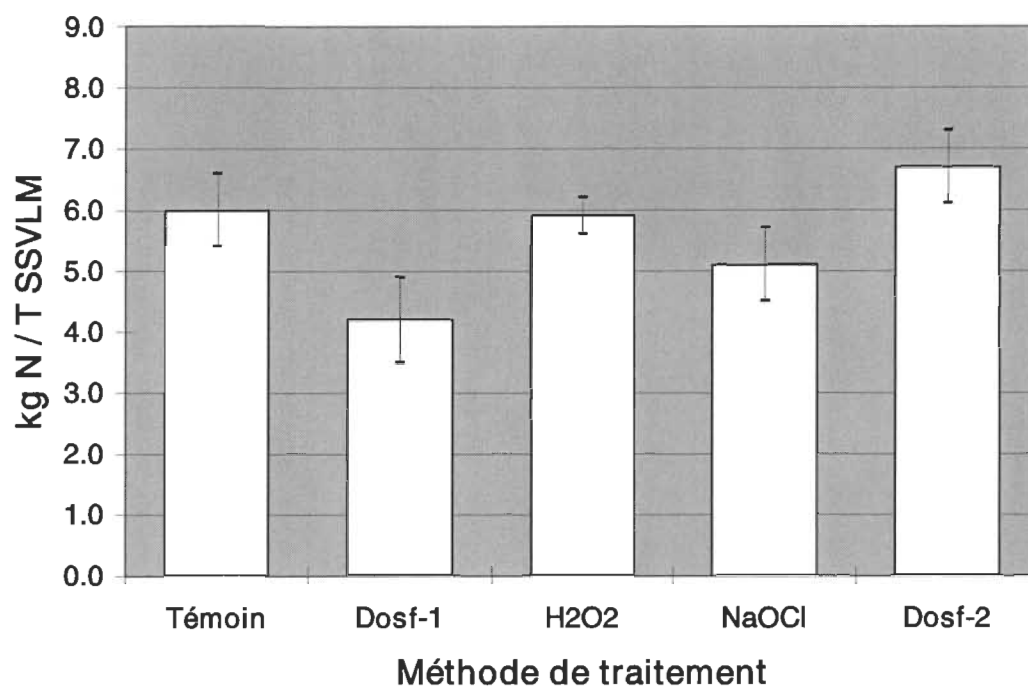


Figure 4-12 Consommation moyenne en azote par les différents bioréacteurs – Étape 3

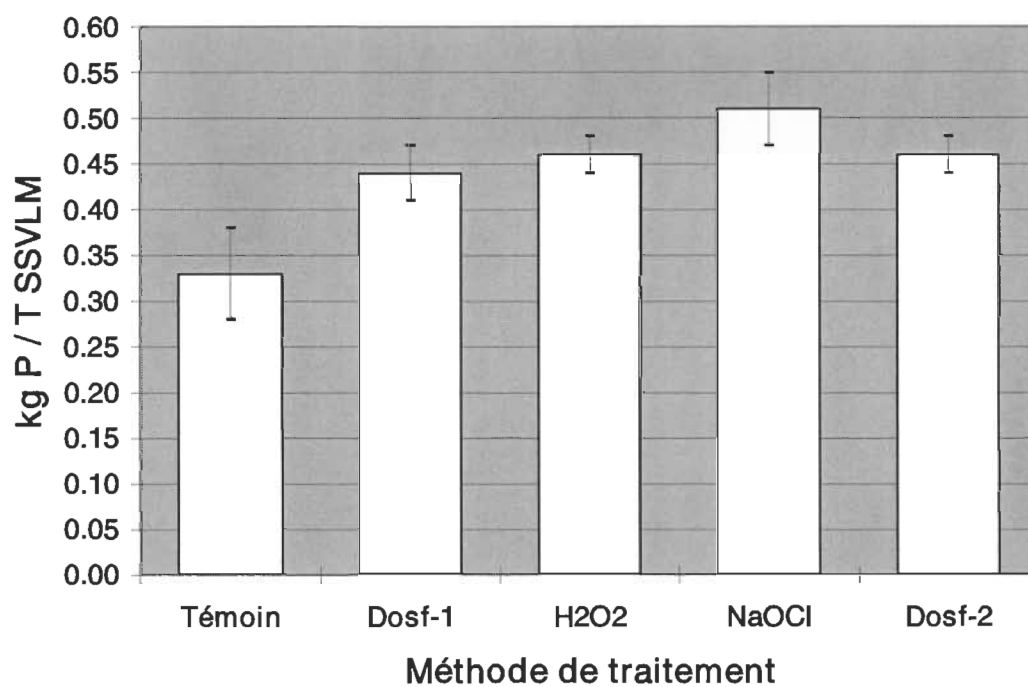


Figure 4-13 Consommation moyenne en phosphore par les différents bioréacteurs – Étape 3



Le tableau 4-20 et la figure 4-14 présentent les résultats de la production moyenne de biomasse pour chacune des méthodes de contrôle évaluées [17].

Tableau 4-20 Production moyenne de biomasse par les différents bioréacteurs – Étape 3

Bioréacteur	Production de biomasse (g SSVLM / g DCO.j)	
	Moyenne	(+/-)
1. Témoin	0.16	0.03
2. Dosfolat 1	0.09	0.01
3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.12	0.02
4. NaOCl	0.10	0.01
5. Dosfolat 2	0.17	0.02

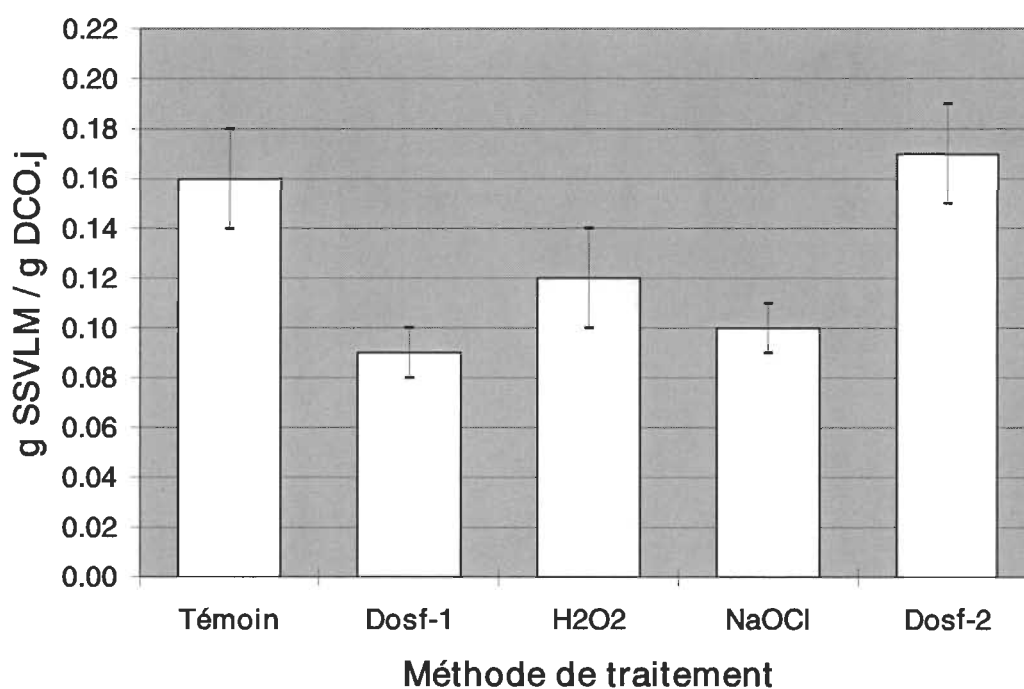


Figure 4-14 Production moyenne de biomasse par les différents bioréacteurs – Étape 3

Selon ces résultats, le bioréacteur traité au Dosfolat 1 et celui traité à l'hypochlorite de sodium, sont ceux qui ont été les plus performants, i.e. présentant une production de biomasse inférieure au bioréacteur témoin, et ce sans affecter leur efficacité de traite-

ment des eaux usées. Ces renseignements sont intéressants pour les industries qui doivent gérer la biomasse purgée de leur traitement secondaire [17].

#### 4.6 Récupération d'un bioréacteur en difficulté par l'ajout de Dosfolat

Vers la fin des essais de l'étape 3, le bioréacteur témoin a subi un problème d'alimentation en eaux usées et éléments nutritifs. Ce problème fut engendré par le bris de la pompe d'alimentation. Tel que mentionné antérieurement, le problème étant survenu au cours de la nuit, nous n'avons pu remplacer la pompe avant le lendemain matin. Ceci a eu pour conséquence la formation excessive d'exopolymères bactériens, dû à un manque d'éléments nutritifs, ce qui diminua grandement le phénomène de clarification dans le décanteur et fit monter en flèche l'IVB (Figure 4-8). Il en a également résulté un impact négatif sur les populations de la faune du bioréacteur (Figure 4-11). La problématique étant survenue par hasard, nous avons décidé de tirer profit de celle-ci et de vérifier si le Dosfolat pouvait aider le bioréacteur témoin à récupérer sa stabilité. Ces résultats sont présentés aux figures 4-15 et 4-16 [17].



Figure 4-15 Récupération de la stabilité par un traitement au Dosfolat

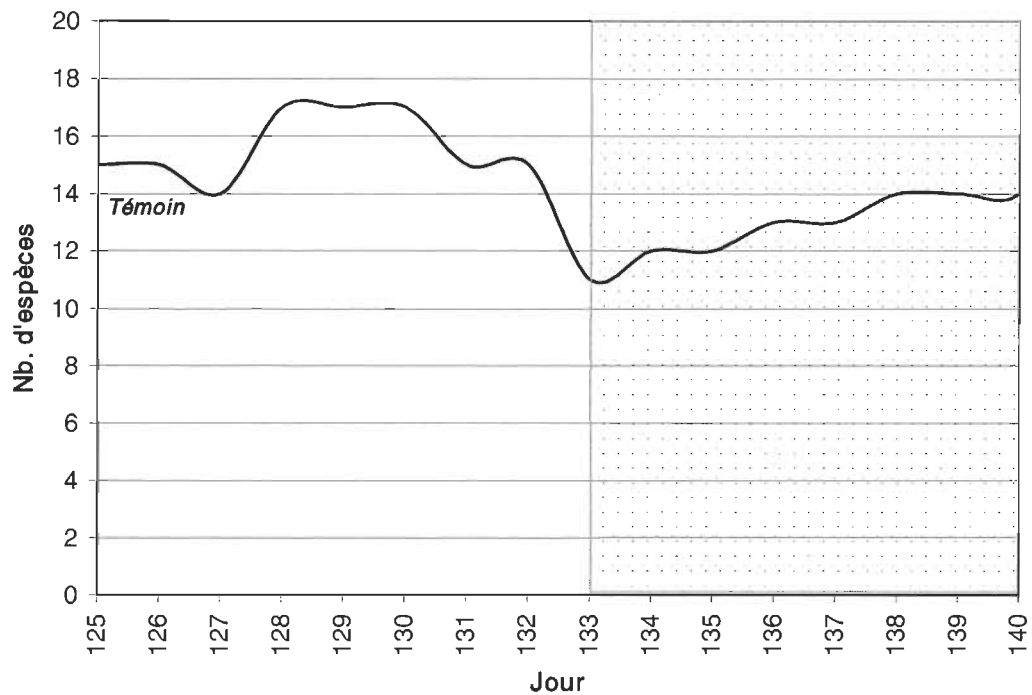


Figure 4-16 Récupération de la diversité de la faune par un traitement au Dosfolat

La figure 4-15 présente la récupération de l'IVB par l'ajout de Dosfolat sous faible charge, i.e. 0.1 ppm. L'impact positif du Dosfolat est bien évident. Le Dosfolat a ainsi réussi à contrecarrer la tendance à la hausse de l'IVB, pour graduellement diminuer cette valeur à un niveau acceptable [17].

La figure 4-16 illustre l'effet de l'ajout du Dosfolat sous faible charge, i.e. 0.1 ppm, sur la diversité relative de la faune. L'impact positif du Dosfolat, sur la récupération d'une bonne diversité faunique à l'intérieur du bioréacteur, est bien évident. L'ajout du Dosfolat a limité la tendance à la baisse de l'IVB et a graduellement accru la diversité à un niveau similaire aux jours précédents la perturbation [17].

#### 4.7 Drainage du mélange des résidus

Une étude sur le mélange de résidus contenant de la biomasse issue du bioréacteur traitée a été effectuée pour évaluer l'impact de l'utilisation du Dosfolat sur ce paramètre. Les conclusions de cette étude furent [17] :

1. lors du premier essai, l'utilisation du Dosfolat a permis d'obtenir une qualité de drainage de 4 à 41% supérieure aux autres méthodes de traitements; et
2. lors du deuxième essai, l'ajout de Dosfolat, même sous de faibles charges, permettait d'améliorer le drainage des résidus de 25 à 51% proportionnellement aux autres méthodes de traitements.

## Chapitre 5 - Conclusions et Recommandations

### 5.1 Résumé de l'étude et de ses résultats

Le but principal de ce projet de recherche était d'évaluer l'impact de l'utilisation du Dosfolat sur le contrôle du foisonnement filamenteux dans les traitements secondaires des industries papetières. L'intention était l'évaluation et l'élaboration d'une nouvelle méthode de contrôle ne comportant pas d'impacts négatifs sur l'environnement [17].

De ce fait, l'étude avait deux grands objectifs [17] :

- obtenir des renseignements concernant les avantages économiques, environnementaux et opérationnels de l'utilisation du Dosfolat; et
- valider ou infirmer les renseignements littéraires sur l'utilisation du Dosfolat.

Pour atteindre nos objectifs, nous avons décidé de comparer l'efficacité du Dosfolat à d'autres méthodes de contrôle du foisonnement filamenteux, e.g., hypochlorite de sodium, peroxyde d'hydrogène, sélecteur anoxie. Différents paramètres furent observés pour fin de comparaison [17] :

- quantité d'éléments nutritifs utilisée (azote, phosphore);
- qualité de la décantation de la biomasse;
- «santé» des bioréacteurs (TSUO);
- quantité de biomasse produite (production de boues);
- qualité du contrôle du foisonnement filamenteux;
- qualité du drainage de la biomasse produite; et
- qualité du traitement des eaux usées (MES, DCO, etc.).

Les résultats des essais accomplis, lors de cette étude, permettent de conclure que sous les conditions expérimentales utilisées [17] :

- l'utilisation indépendante du Dosfolat et de l'hypochlorite de sodium permet un contrôle effectif du foisonnement filamenteux dans notre système de traitement des eaux usées par boues activées;
- le temps d'action du Dosfolat et de l'hypochlorite de sodium est relativement similaire, selon la charge utilisée;
- l'utilisation indépendante du Dosfolat et de l'hypochlorite de sodium permet une réduction de consommation moyenne en azote, relativement semblable, selon la charge utilisée;
- l'utilisation indépendante du Dosfolat et de l'hypochlorite de sodium permet une réduction de la production moyenne de biomasse, relativement semblable, dépendamment de la charge utilisée;
- l'utilisation du Dosfolat a permis d'obtenir une amélioration du drainage des résidus mixtes;
- l'utilisation du peroxyde d'hydrogène n'a pas toujours permis un contrôle effectif du foisonnement filamenteux dans notre système de traitement des eaux usées par boues activées. De plus, son utilisation a parfois eu des impacts négatifs sur les microorganismes du bioréacteur, i.e. légère réduction de la qualité de traitement des eaux usées; et
- l'utilisation d'un sélecteur anoxie n'a pas permis un contrôle effectif du foisonnement filamenteux dans notre système de traitement des eaux usées par boues activées.

Comparativement à la chloration, l'utilisation du Dosfolat présente donc également divers avantages économiques et opérationnels, en plus d'être un produit «écologique». Les résultats suggèrent ainsi que l'utilisation du Dosfolat serait une alternative intéressante à la chloration ou à d'autres méthodes de contrôle du foisonnement filamenteux [17].

## 5.2 Recommandations

Tel que mentionné dans la littérature [5,7,8,17], tout emploi industriel d'une méthode de contrôle du foisonnement filamenteux exige, au préalable, l'élaboration d'un suivi spécifique afin de permettre :

- une optimisation de l'efficacité et des coûts d'opération reliés à la méthode utilisée et au système de traitement des eaux usées; et
- un maintien ou une amélioration des performances environnementales du système de traitement des eaux usées;

L'utilisation industrielle du Dosfolat requiert un suivi similaire à d'autres méthodes utilisant des agents chimiques. Les principaux critères à vérifier ou à contrôler sont [17] :

- la détermination du point d'injection optimal pour l'obtention d'un traitement efficace;
- la détermination de la charge effective minimale, en Dosfolat, pour l'obtention de résultats positifs;
- la détermination de la concentration effective minimale en azote, phosphore et oxygène dissous, dans le bioréacteur, pour réduire les coûts d'opération;
- le suivi régulier de l'indice de volume des boues du bioréacteur;
- le suivi régulier de l'évolution des microorganismes du bioréacteur; et
- le suivi régulier de la qualité des eaux traitées (normes environnementales).

## 5.3 Poursuite de l'étude

Des essais en industrie sont indispensables à la détermination de conditions spécifiques d'opération et des coûts d'investissement reliés à une méthode quelconque. Afin de répondre plus précisément aux questions reliées à l'impact industriel de l'utilisation du Dosfolat, une seconde phase est prévue au projet recherche. Cette dernière aura pour objectifs l'évaluation de [17] :

- l'utilisation du Dosfolat dans différentes usines de traitement des eaux usées reliées aux industries papetières, ce qui permettra de valider ou d'infirmar les résultats obtenus en laboratoire; et
- l'aspect économique, opérationnel et environnemental de l'utilisation industrielle du Dosfolat.



## Bibliographie

- 1 Ramalho, R.S., 1983. *Introduction to wastewater treatment process*, Second edition, Academic Press Inc., 580 p.
- 2 Kantardjieff, Alexandra, Septembre 1992. *Principes fondamentaux d'exploitation du procédé des boues activées*, Le Groupe Teknika, Association des Industries Forestières du Québec, Séminaire sur le traitement biologique, 90 p.
- 3 Edeline, F., 1993. *L'épuration biologique des eaux : Théorie & Technologie des réacteurs*, 4<sup>e</sup> édition, Éditions CEBEDOC, 300 p.
- 4 Gagnon, D., Automne 2000. *Traitement anti-pollution – Prétraitement, traitement primaire et secondaire*, Université du Québec à Trois-Rivières, Notes de cours, 160 p.
- 5 Jenkins, D., Richard, M.G. & Daigger, G.T., 1993. *Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming*, 2<sup>nd</sup> edition, Lewis Publishers, 195 p.
- 6 Gagnon, D. & Lavallée, H-C., Janvier 1999. *Alternatives potentielles de contrôle des bactéries filamenteuses au sein d'un système de traitement par boues activées: sondage et recherche bibliographique*, Centre de Recherche en Pâtes et Papiers – Université du Québec à Trois-Rivières, Rapport de recherche, 106 p.
- 7 Chudoba, J., 1989. *Activated sludge-bulking control*, *Encyclopaedia of environmental control technology*, Wastewater treatment tech., Volume 3: 171-202.
- 8 Gagnon, D. & Lavallée, H-C., Janvier 2000. *Utilisation de l'acide folique dans l'opération des systèmes de traitement secondaire: sondage et recherche bibliographique*, Centre de Recherche en Pâtes et Papiers, Université du Québec à Trois-Rivières, Rapport de recherche, 25 p.

- 
- 9 Akerboom, R.K., Lutz, P. & Berger, H.F., 1994. *Folic acid reduces the use of secondary treatment additives in treating wastewater from paper recycling*, TAPPI Environmental Conference Proceedings: 941-946.
  - 10 Anonymous, 1998. *Customer success matrix*, Bioprime environmental technologies from Europe, Bioprime, Norwich, VT, USA, 4 p.
  - 11 Anonymous, 1998. *Folic acid: problem solver*, Bioprime environmental technologies from Europe, Bioprime, Norwich, VT, USA, 4 p.
  - 12 Anonymous, 1998. *Report of Dosfolat field trial Sonoco, Newport, TN*, Bioprime environmental technologies from Europe, Bioprime, Norwich, VT, USA, 6 p.
  - 13 Anonymous, 1998. *Case study: Dosfolat in the paper industry*, Bioprime environmental technologies from Europe, Bioprime, Norwich, VT, USA, 7 p.
  - 14 Anonymous, 1998. *Folic acid: new evidence*, Bioprime environmental technologies from Europe, Bioprime, Norwich, VT, USA, 1 p.
  - 15 Akerboom, R. *Folic acid cures sludge bulking problems in food industry wastewater treatment plants*, Food Industry Environmental Conference, Georgia Tech. Research Institute, Atlanta, November 10, 1992.
  - 16 Anonymous, 1998. *Dosfolat XS provides sludge bulking control at lower cost for the town of Suffield, CT*, W.P.C.F. Bioprime environmental technologies from Europe, Bioprime, Norwich, VT, USA, 1 p.
  - 17 Gagnon, D., Dubé, E. & Lavallée, H-C., Mars 2002. *Utilisation de l'acide folique dans l'opération des systèmes de traitement secondaire: Rapport préliminaire – Phase I*, Centre de Recherche en Pâtes et Papiers, Université du Québec à Trois-Rivières, Rapport de recherche, 66 p.

- 
- 18 Voet, D., Voet, J.G., 1998. *Biochimie*, 2e édition, DeBoeck Université, Bruxelles, 1361 p.
- 19 Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., Watson, J.D., 1993. *Biologie moléculaire de la cellule*, 2<sup>e</sup> édition, Médecine-Sciences Flammarion, 1250 p.
- 20 Horton, H., Moran, L., Ochs, R., Rawn, J., Scrimgeour, K., 1994. *Principes de biochimie*, DeBoeck Université, Bruxelles, 720 p.
- 21 Regnault, J-P., 1990. *Microbiologie générale*, Décarie Éditeur inc., Montréal, Québec, Canada, 859 p.
- 22 Brock, T.D., M.T. Madigan, Martinko, J.M. & Parker, J., 1994. *Biology of Microorganisms*, Seventh Edition, Prentice-Hall, Inc., 909 p.
- 23 Mohr, H. *Folic-acid - A micronutritive and promoter of growth for bacteria and fungus (a review)*, Bio/Technology - Nature Publishing Company, 10/87.
- 24 Environmental Training Consultants, Inc., August 1994. *Activated sludge operation for pulp and papermills*, Eighth edition, 200 p.
- 25 Gagnon, D., Automne 2000. *Traitement anti-pollution – Traitement anaérobie, traitement tertiaire et valorisation des résidus papetiers*, Université du Québec à Trois-Rivières, Notes de cours, 270 p.
- 26 Jenkins, D., Richards, M.G., 1985. *The causes and control of activated sludge bulking*, TAPPI 68 (12) : 73-76.
- 27 Pipes, W.O., 1969. *Types of activated-sludge which separate poorly*, Journal WPCF, 41 : R61.
- 28 Eckenfelder, W.W., 1985. *Sludge bulking control*, TAPPI Environmental Conferences Proceedings : 175-176.

- 
- 29 Eckenfelder, W.W., 1985. *Filamentous bulking control of industrial wastewater sludge*, Pollution Engineering, December: 36-38.
- 30 Bitton, G., 1994. *Bulking and foaming in activated sludge plant*, Wastewater microbiology, University of Florida, Fl, USA, Chapter 9: 167-183.
- 31 Richard, M.G., 1996. *Filamentous and polysaccharide bulking problems and their control in papermill activated sludge*, TAPPI Environmental Conferences Proceedings: 95-97.
- 32 Richard, M.G., 1997. *Recent changes in the prevalence and causes of bulking filamentous bacteria in pulp and papermill activated sludge systems*. TAPPI Environmental Conferences Proceedings: 553-556.
- 33 Switzenbaum, M.S., Plante, T.R. & Woodworth, B.K., 1992. *Filamentous bulking in Massachusetts: extent of the problem and case studies*, Water Science Technology, 23 (4-5): 265-271.
- 34 Ayling, G.W. & Castraantas, H.M., 1981. *Waste treatment with hydrogen peroxide*, Chemical Engineering, 88(24): 79-82.
- 35 Tendulkar, S.R. & Datta, S.K., 1981. *Hydrogen peroxide for treatment of effluent in paper mills*, IPPTA 18(3): 56-57.
- 36 Robinson, S., 1994. *Hydrogen peroxide finds increased use in solving mill environmental problems*, Pulp & Paper 61(10): 4 p.
- 37 William, G.S. & Shapiro, J. *Bulking control made easy with hydrogen peroxide*, Water Pollution Control, 07/76.
- 38 Caropreso, F.E., Raleigh, C.W. & Brown, J.C., 1974. *Attack bulking sludge with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and a microscope – First of 2 instalments*, Bulletin California Water Pollution, Contr. Assoc., 10 (4) : 44-50.

- 
- 39 Keller, P.J. & Cole, C.A., 1973. *Hydrogen peroxide cures bulking*, Water and Wastes Engineering, 10, E4.
- 40 Cole, C.A., Stamberg, J.B. & Bishop, F.D., 1973. *Hydrogen peroxide cures filamentous growth in activated sludge*. Journal WPCF, 45 : 829-836.
- 41 Neethling, J.B., Jenkins, D. & Johnson, K.M., 1985. *Chemistry, microbiology and modelling of chlorination for activated sludge bulking control*. Journal WPCF, 57 (8) : 882-889.
- 42 Lakay, M.T., Wentzel, M.C., Ekema, G.A. & Marais, G.V.R. 1988. *Bulking control with chlorination in a nutrient removal activated sludge system*, Water SA 14 (1) : 35-42.
- 43 Salameh, M.F.H., 1990. *Control of filamentous bulking in the activated sludge process with anoxic selector*, University of Texas, Austin. 369 p.
- 44 Anonymous, 2001. *Wastewater organisms database*, Victor Santa Cruz Productions, <http://home1.gte.net/vsjslsk1/index.htm>.
- 45 Vedry, Bernard, 1987. *L'analyse écologique des boues activées*, Édité par Christian Brucker, Segetec, France, 120 p.

---

## Annexe

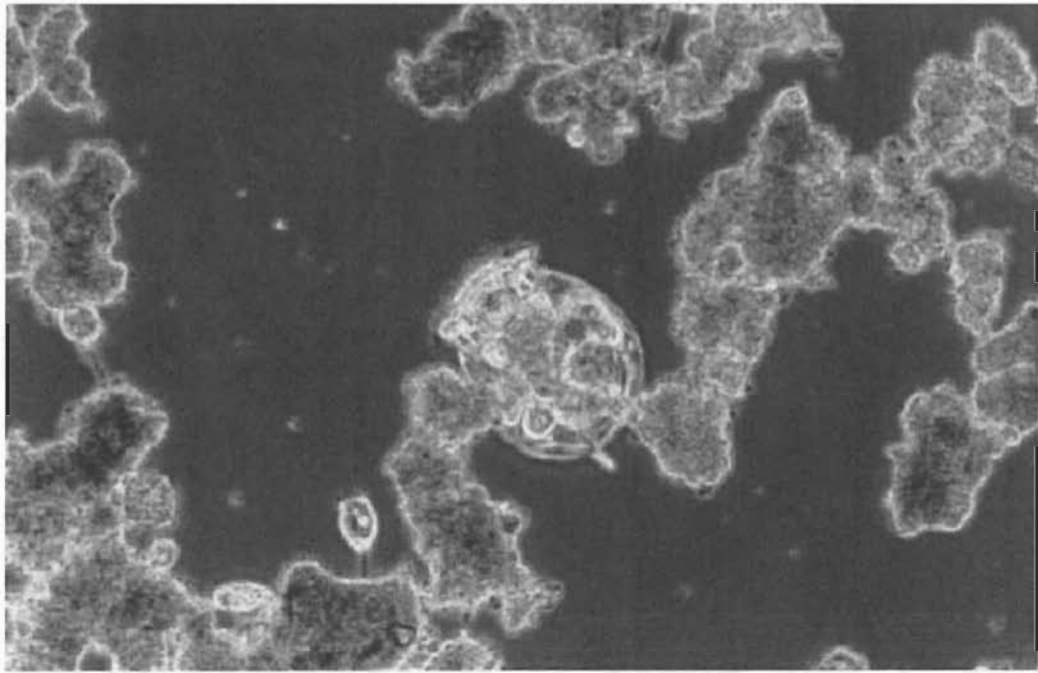


Photo 1      Boues activées en santé (Wastewater organisms database)

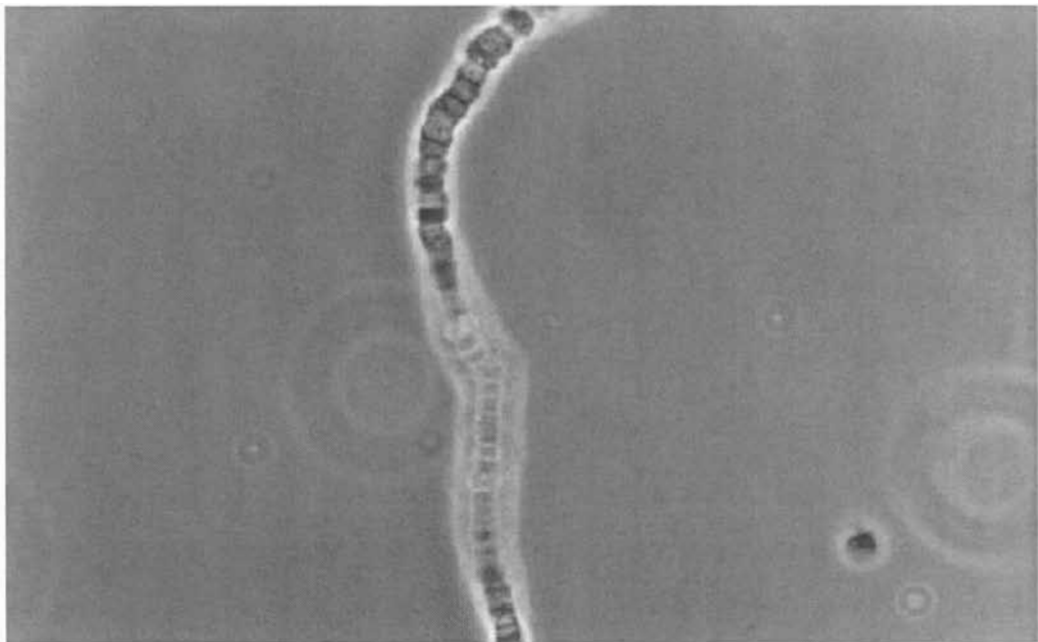


Photo 2      Bactéries filamenteuses type 021N (Wastewater organisms database)

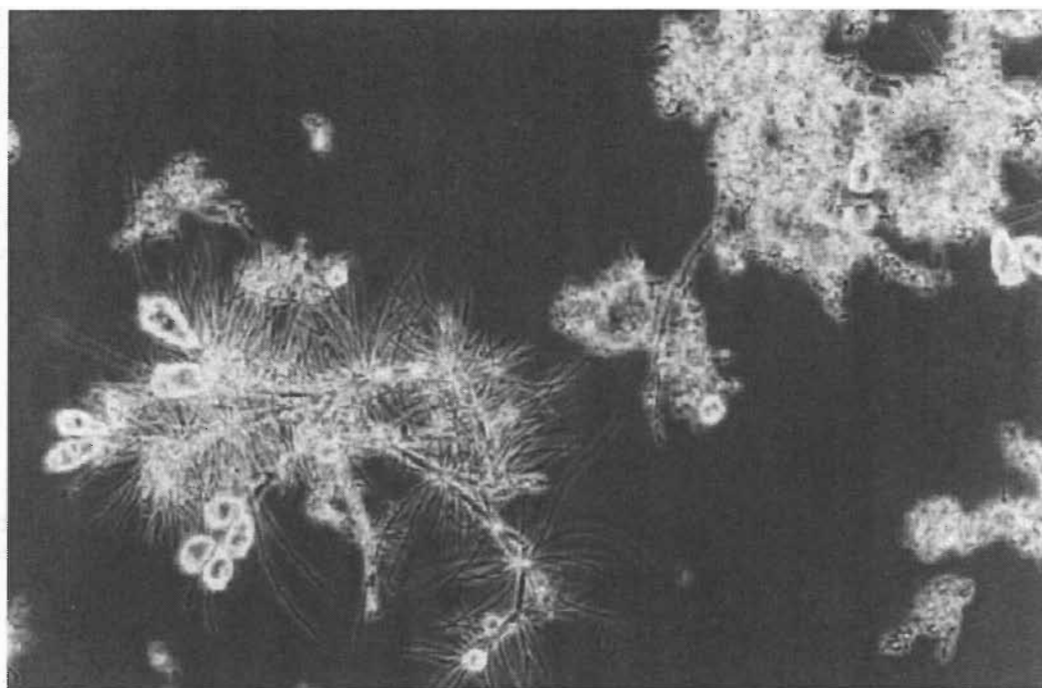


Photo 3      Foisonnement filamenteux léger du type Thiothrix II  
(Watewater organisms database)

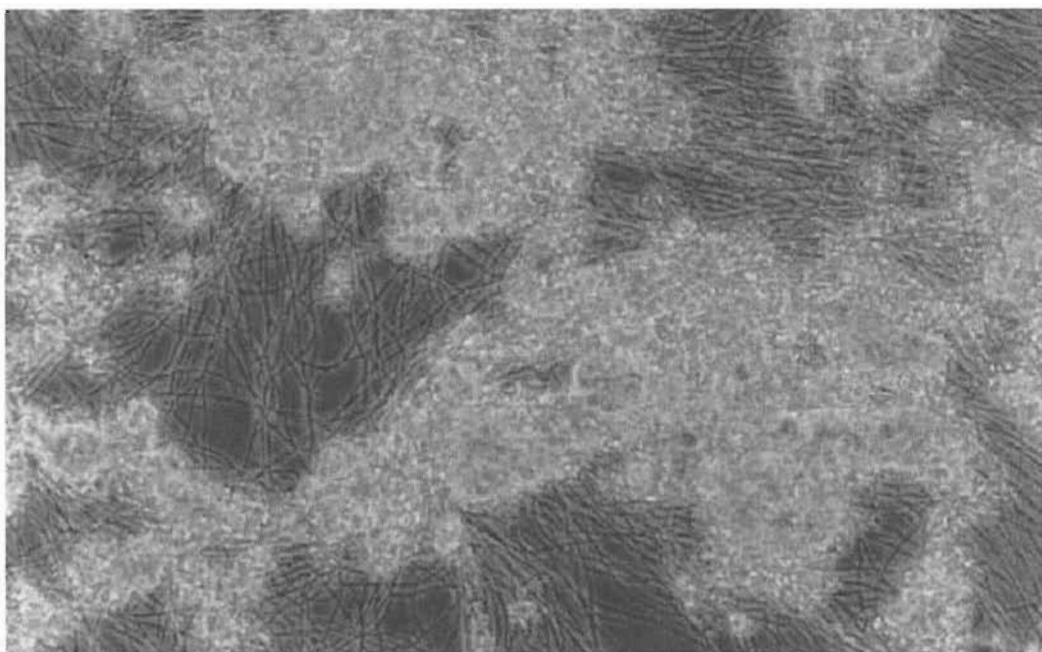


Photo 4      Foisonnement filamenteux important du type 021N (Wate-  
water organisms database)